

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

LA TORDEUSE À BANDES OBLIQUES DANS LE SUD DU QUÉBEC :  
ABONDANCE DES POPULATIONS, PARASITOÏDES ASSOCIÉS ET INFLUENCE DE  
DIVERS FACTEURS BIOTIQUES ET ABIOTIQUES

MÉMOIRE  
PRÉSENTÉ  
COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN BIOLOGIE

PAR  
JACINTHE TREMBLAY

DÉCEMBRE 2008

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL  
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

## AVANT-PROPOS

La lutte biologique contre les ravageurs s'appuie sur les caractéristiques et le comportement des organismes étudiés. Ce projet visait à mieux connaître la situation de la tordeuse à bandes obliques dans les vergers du sud du Québec et leur environnement immédiat. C'est avant tout un projet exploratoire qui s'inscrit dans le processus préliminaire d'un programme de lutte biologique par conservation des ennemis naturels.

Le premier article de ce mémoire « Influence de facteurs biotiques et abiotiques sur l'abondance des populations de tordeuse à bandes obliques » sera traduit en anglais et soumis à la revue *Ecological Entomology*. Le deuxième article, « Parasitisme de la tordeuse à bandes obliques dans le sud du Québec », sera également traduit en anglais et soumis à la revue *BioControl*. Pendant ce travail de recherche, j'ai effectué le choix des sites expérimentaux, l'échantillonnage des insectes, l'identification des spécimens, l'analyse statistique des résultats et la rédaction des deux articles en tant que première auteure. Mon directeur et deuxième auteur du premier article, Éric Lucas, m'a accompagnée lors de ces étapes. Mon co-directeur Jacques Brodeur, troisième auteur des deux articles, m'a assistée lors de la rédaction. Enfin, mon co-directeur Daniel Cormier m'a guidée lors du choix des sites expérimentaux et m'a conseillée dans tous les aspects pratiques du travail.

Mes remerciements vont d'abord à mon directeur et à mes co-directeurs, respectivement le Dr Éric Lucas, le Dr Jacques Brodeur et le Dr Daniel Cormier. Tous trois m'ont fait confiance et ont suivi les multiples tribulations de ce projet avec un intérêt toujours sensible. Je remercie également les réviseurs qui ont aussi contribué à ma formation, j'ai nommé le Dr Daniel Gagnon, le Dr Gérald Chouinard, le Dr Christian Hébert et le Dr Yves Mauffette.

Je remercie tous les membres du laboratoire de lutte biologique de l'UQAM dont j'ai apprécié la franche camaraderie et le partage des expériences. Un immense merci également à toutes les personnes (et elles sont nombreuses!) qui ont grandement contribué à la réalisation du projet par leur aide sur le terrain et en laboratoire : Olivier Castonguay, Jennifer De Almeida, Hugo Trottier, Julie Bourgeault, Geneviève Labrie, Simon Paradis, Maryse

Desrochers, Karine Gauthier, Louise Voynaud, Olivier Aubry et Katherine Lamothe. Un merci tout particulier à ma sœur Véronique qui m'a grandement aidée en 2005.

Je remercie le fond FQRNT-Actions concertées pour le soutien financier. Merci aux producteurs pomicoles ainsi qu'à leurs répondants et leur personnel, pour m'avoir donné accès à leurs vergers (Claude Tougas, Paul-Martin et Catherine Roy, Jean-Claude et Marie McLean, Benoit et Réal Caron, Jonathan Rodrigue, Paul, Benoit et Vincent Gadbois, Émile Lortie, Gilles et Sylvie Hamel et René Ménard). Enfin, merci aux conseillers-dépisteurs pour m'avoir aidée dans la recherche de parcelles expérimentales et pour le partage de connaissances (Sylvain Brousseau du Club de pomiculture Missisquoi, Nicole Gagné du Club de pomiculture Montérégie, Yvon Morin du CET Pro-Pomme et Gilles Tremblay du CET Transpomme).

Je remercie également toute l'équipe de l'IRDA avec qui j'ai eu le grand plaisir de travailler et qui ont été ma famille d'été : Franz Vanoosthuyse (étonnamment, pour sa contribution essentielle à mon bien-être mental), Francine Pelletier (pour sa patience et pour avoir maternellement pris en charge l'élevage des larves sentinelles), Jocelyn, Sylvie, Gérald et Cynthia.

Je remercie bien sûr Andrew Bennett, Henri Goulet, James O'Hara et John Huber de la Collection nationale canadienne d'insectes, arachnides et nématodes à Ottawa, ainsi que Brian Brown du Musée d'histoire naturelle du comté de Los Angeles, pour l'identification des parasitoïdes récoltés. Merci encore à Bertrand Fournier pour ses conseils judicieux en statistiques et à Yvon Morin pour avoir partagé ses connaissances et son expertise.

Merci également à Sébastien qui a partagé ma vie pendant cette période d'apprentissage intensif. Merci d'avoir toujours cru en moi, dédramatisé maints embryons d'angoisse existentielle, accepté d'héberger « des p'tites p'tites bibittes » à certains moments et supporté un réveille-matin pour le moins matinal. Enfin, merci à mes parents pour m'avoir inculqué le goût du travail bien fait et pour avoir été les premiers à soutenir mon intérêt pour l'environnement et pour tout ce qui vit.

## TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS .....	ii
LISTE DES FIGURES .....	vi
LISTE DES TABLEAUX .....	vii
LISTE DES ABRÉVIATIONS .....	viii
RÉSUMÉ .....	ix
CHAPITRE I : INTRODUCTION .....	1
CHAPITRE II : ARTICLE I	
INFLUENCE DE FACTEURS BIOTIQUES ET ABIOTIQUES SUR L'ABONDANCE DES POPULATIONS DE TORDEUSE À BANDES OBLIQUES .....	14
1. Introduction .....	16
2. Méthodologie .....	17
2.1 Sites d'échantillonnage .....	17
2.2 Évaluation de l'abondance des populations de TBO.....	18
2.3 Données météorologiques.....	19
2.4 Données végétales.....	20
2.5 Analyses statistiques.....	21
3. Résultats .....	23
4. Discussion .....	28
CHAPITRE III : ARTICLE II	
PARASITISME DE LA TORDEUSE À BANDES OBLIQUES DANS LE SUD DU QUÉBEC .....	44
1. Introduction .....	46
2. Méthodologie .....	47
2.1 Sites d'échantillonnage .....	47
2.2 Méthode des larves sentinelles .....	48
2.3 Échantillonnage des larves hibernantes indigènes en 2006.....	49
2.4 Analyses statistiques.....	50

3. Résultats .....	51	
4. Discussion .....	52	
CONCLUSION .....	65	
APPENDICE A		
LATITUDE, LONGITUDE, ALTITUDE (À L'INTERFACE BOISÉ-VERGER) ET PENTE (DU VERGER VERS LE BOISÉ) DES SITES EXPÉRIMENTAUX UTILISÉS EN 2005 ET 2006 POUR L'ESTIMATION DES POPULATIONS DE LA TORDEUSE À BANDES OBLIQUES EN MONTÉRÉGIE-EST ET DANS BROME-MISSISQUOI .....		69
APPENDICE B		
LATITUDE, LONGITUDE, ALTITUDE ET PENTE MOYENNES RÉGIONALES DES SITES EXPÉRIMENTAUX DE 2006 .....		70
APPENDICE C		
COMPOSITION VÉGÉTALE DES BOISÉS ADJACENTS AUX VERGERS DANS LES SITES ÉCHANTILLONNÉS .....		71
APPENDICE D		
CARACTÉRISTIQUES VÉGÉTALES (ARBRES, ARBUSTES ET BORDURE) DES BOISÉS ADJACENTS AUX VERGERS DANS LES SITES ÉCHANTILLONNÉS .....		76
LISTE DES RÉFÉRENCES .....		80

## LISTE DES FIGURES

### Chapitre I : Introduction

Figure I-1. Phénologie de la tordeuse à bandes obliques (TBO), en parallèle avec la phénologie du pommier, *Malus domestica*, dans le sud du Québec .....4

### Chapitre II : Article I

Figure II-1. Localisation des sites expérimentaux utilisés en 2005 et 2006 pour l'estimation des populations de la tordeuse à bandes obliques, en Montérégie-Est et dans Brome-Missisquoi (Google Maps Canada <sup>TM</sup>) .....33

Figure II-2. Captures annuelles moyennes ( $\pm$  erreur-type) de tordeuse à bandes obliques enregistrées dans des vergers de pommiers et boisés adjacents en Montérégie-Est et dans Brome-Missisquoi pour les étés 2005 et 2006. Les astérisques indiquent une différence significative entre les deux régions (test de *t* de Student) : \* <0,05, \*\* <0,01 .....34

Figure II-3. Captures hebdomadaires moyennes ( $\pm$  erreur-type) de tordeuse à bandes obliques dans des boisés adjacents à des vergers de pommiers en Montérégie-Est et dans Brome-Missisquoi, en 2005 et 2006 .....35

### Chapitre III : Article II

Figure III-1. Pourcentage de larves sentinelles parasitées en 2005 et 2006 selon la période d'exposition (correspondant à la génération de larves) et le lieu d'exposition. Les encadrés indiquent le nombre total de larves sentinelles utilisées pour l'évaluation du parasitisme. (Khi-carré de Pearson : \*\*\* = <0,001) .....61

## LISTE DES TABLEAUX

### Chapitre II : Article I

Tableau II-1. Températures enregistrées dans les vergers pilotes du Réseau-Pommier et complétées avec celles du site des Archives climatiques nationales, pour 2004, 2005 et 2006 en Montérégie-Est et dans Brome-Missisquoi .....36

Tableau II-2. Corrélations entre l'abondance de la tordeuse à bandes obliques (dans des boisés adjacents à des vergers de pommiers en Montérégie-Est et dans Brome-Missisquoi pour les étés 2005 et 2006) et les données de température (moyenne, maximale et minimale) de l'année précédente et de l'année courante (analyse de corrélation paramétrique de Pearson) .....38

Tableau II-3. Précipitations enregistrées dans les vergers pilotes du Réseau-Pommier et complétées avec celles du site des Archives climatiques nationales, pour 2004, 2005 et 2006 en Montérégie-Est et dans Brome-Missisquoi .....39

Tableau II-4. Corrélations entre l'abondance de la tordeuse à bandes obliques (dans des boisés adjacents à des vergers de pommiers en Montérégie-Est et dans Brome-Missisquoi pour les étés 2005 et 2006) et les précipitations saisonnières et mensuelles de l'année précédente et de l'année courante (analyse de corrélation paramétrique de Pearson) : a) première génération d'adultes (captures du 5 juin au 24 juillet), b) seconde génération d'adultes (captures du 31 juillet au 4 septembre) .....40

Tableau II-5. Caractéristiques végétales moyennes des boisés (arbres, arbustes et bordure) adjacents aux vergers de pommiers de la Montérégie-Est et de Brome-Missisquoi, aux sites expérimentaux de 2006.....41

Tableau II-6. Corrélations significatives entre l'abondance de la tordeuse à bandes obliques (dans des boisés adjacents à des vergers de pommiers en Montérégie-Est et dans Brome-Missisquoi pour les étés 2005 et 2006) et les caractéristiques végétales des boisés (arbres, arbustes et bordure) (analyses de corrélation paramétrique de Pearson) .....43

### Chapitre III : Article II

Tableau III-1. Sort des larves sentinelles exposées aux parasitoïdes pendant une semaine dans les sites expérimentaux, en 2005 et 2006 .....62

Tableau III-2. Nombre de larves sentinelles de tordeuse à bandes obliques attaquées par les parasitoïdes en 2005 et 2006, selon la période (génération de larves de TBO) et le lieu d'exposition. Les cas issus de larves jeunes et âgées sont additionnés .....63



## LISTE DES ABRÉVIATIONS

ARLA	Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire
DHP	Diamètre à hauteur de poitrine (1,30 m)
ha	Hectare
m	Mètre
m <sup>2</sup>	Mètre carré
TBO	Tordeuse à bandes obliques

## RÉSUMÉ

La production pomicole est la principale culture fruitière au Québec, générant d'importants revenus. Parmi les nombreux insectes, acariens, oiseaux, mammifères et maladies qui s'attaquent aux pommiers, la tordeuse à bandes obliques, *Choristoneura rosaceana* (Harris) (Lepidoptera : Tortricidae) a maintenant le statut de ravageur secondaire dans les vergers. Cette étude a été entreprise dans le but d'identifier les facteurs qui influencent l'abondance de cette tordeuse dans les vergers du sud du Québec et leurs boisés adjacents.

La première partie de cette étude avait pour but de comparer deux régions géographiques soupçonnées de présenter des situations différentes quant à l'abondance de cette tordeuse. Les régions de la Montérégie-Est et de Brome-Missisquoi ont donc été comparées pour établir si des différences existaient dans l'abondance des populations de la tordeuse à bandes obliques, et pour identifier les variables géomorphologiques, météorologiques et végétales qui influencent l'abondance de leurs populations. La taille des populations d'adultes a été estimée avec des pièges à phéromones dans un total de onze vergers commerciaux et leur boisé adjacent, pendant deux années consécutives. Une caractérisation végétale des boisés adjacents aux vergers a été effectuée.

L'abondance de la tordeuse à bandes obliques s'est avérée supérieure en Montérégie-Est. Le nombre de captures en verger était fortement corrélé aux captures en boisé adjacent. La Montérégie-Est possède deux fois plus d'espèces végétales hôtes de la tordeuse à bandes obliques, principalement l'érable à sucre. Les températures étaient supérieures en Montérégie-Est, particulièrement en début de saison. L'abondance des adultes de la tordeuse à bandes obliques était reliée positivement à la proportion d'espèces hôtes en boisé et à la température de l'année en cours et de l'année précédente. Un printemps hâtif et des températures plus élevées en fin de saison favoriseraient des populations de grande taille.

La seconde partie de cette étude visait à inventorier la guildes des parasitoïdes qui s'attaquent à la TBO et à quantifier l'intensité du parasitisme de la TBO dans les vergers commerciaux du sud du Québec et leur boisé adjacent. Une méthode de larves sentinelles a été utilisée dans les vergers commerciaux et leur boisé adjacent. Ces larves ont été exposées pendant une semaine aux parasitoïdes sur de jeunes pousses de pommiers maintenues à 1m50 du sol dans un contenant avec de l'eau. Elles ont ensuite été ramenées au laboratoire et maintenues sur diète artificielle jusqu'à la mort de l'individu, sa transformation en adulte ou l'émergence d'un parasitoïde adulte. Les parasitoïdes ont ensuite été identifiés.

En 2005, 15 % des 456 larves sentinelles récupérées ont été parasitées alors que près de 14 % des 2 410 larves sentinelles ont été parasitées en 2006. Le niveau de parasitisme a atteint 54 % dans certains cas, ce qui est élevé comparativement à ce qui est rapporté dans d'autres études. La guildes des parasitoïdes était composée de dix-neuf espèces appartenant à cinq familles. La mouche tachinaire *Actia interrupta* Curran dominait largement les autres espèces, représentant 27 % des parasitoïdes en 2005 et 61 % en 2006. Elle était suivie de

*Meteorus trachynotus* Viereck (Hymenoptera : Braconidae) et *Hercus fontinalis* (Holmgren) (Hymenoptera : Ichneumonidae).

En somme, sachant maintenant que la TBO bénéficie d'une guildes de parasitoïdes très riche dans le sud du Québec, que les niveaux de parasitisme relevés sont plutôt élevés et compte tenu du fait que certaines populations ont développé une résistance aux insecticides, la lutte biologique par conservation des ennemis naturels pourrait être une méthode additionnelle envisageable pour la lutte aux populations de TBO.

**Mot-clefs :** *Choristoneura rosaceana*, populations, végétation, température, parasitisme, vergers de pommiers, boisés adjacents, lutte biologique par conservation.

**CHAPITRE I :**  
**INTRODUCTION**

## Contexte pomicole

La production pomicole est la principale culture fruitière au Québec. En 2005, 647 producteurs cultivaient 6 480 hectares de vergers, pour une production d'environ 102 250 tonnes métriques de pommes, représentant plus de 34 millions de dollars (Fédération des producteurs de pommes du Québec, 2008). Cette production importante implique la gestion de nombreux insectes, acariens, oiseaux, mammifères et maladies qui s'attaquent aux pommiers. La tordeuse à bandes obliques (TBO), *Choristoneura rosaceana* (Harris) (Lepidoptera : Tortricidae), un insecte auparavant considéré comme un ravageur occasionnel, a maintenant le statut de ravageur secondaire dans les vergers, c'est-à-dire qu'elle peut causer des dommages appréciables localement ou occasionnellement (Chouinard *et al.*, 2001). Dans les vergers en gestion intégrée, le pourcentage moyen de pommes endommagées par cette tordeuse varie habituellement de 1 à 3 %, mais peut augmenter jusqu'à 23 % lors de certaines années (G. Chouinard, comm. pers.).

Des populations de TBO sont devenues résistantes à certains insecticides organophosphorés, pyréthrinoïdes et carbamates (Bellerose *et al.*, 1992; Carrière *et al.*, 1996; Smirle *et al.*, 1998), rendant plus difficile leur contrôle par les producteurs. Ces phénomènes de résistance aux insecticides sont également bien documentés depuis une vingtaine d'années en Ontario (Pree *et al.*, 2001, 2003, 2004), en Colombie-Britannique (Smirle *et al.*, 2002), ainsi que dans les états de New York (Reissig *et al.*, 1986 ; Lawson *et al.*, 1997 ; Waldstein *et al.*, 1999 ; Waldstein et Reissig, 2000) et du Michigan (Ahmad *et al.*, 2002 ; Ahmad et Hollingworth, 2004).

## Cycle de vie de la TBO

Indigène à l'Amérique du Nord, la TBO peut se nourrir sur une grande variété de végétaux (plus de 70 espèces) (Prentice, 1965) mais affiche une préférence pour les plantes de la famille des Rosacées (pommier, poirier, prunier, etc.) (Chapman et Lienk, 1971); elle

peut aussi se nourrir de graines de conifères à l'occasion (Simeone et Engelken, 1959; Onstad *et al.*, 1985; AliNiazee, 1986).

Au Québec, les populations de la TBO sont majoritairement univoltines dans le nord (48°34'N) et majoritairement bivoltines dans le sud (45°28'N) (Hunter et McNeil, 2000). La TBO passe l'hiver au 3<sup>ième</sup> stade larvaire sous l'écorce des arbres (Geest et Evenhuis, 1991). Dans les vergers de pommier, la sortie de diapause des larves hibernantes s'échelonne du stade bouton rose (mi-mai) au stade calice (début juin). Les chenilles se nourrissent alors principalement de bourgeons, de jeunes feuilles (dans lesquelles elles s'enroulent) et de fruits lorsque ceux-ci commencent à prendre forme, provoquant très souvent leur chute (Sanderson et Jackson, 1909 ; Geest et Evenhuis, 1991). La nymphose se produit en juin. Dès la mi-juin, les adultes émergent et s'accouplent; cette première génération d'adultes est présente jusqu'à la fin juillet. Les œufs sont pondus en ooplaques de 50 à 600 œufs, à la face supérieure des feuilles. Les jeunes chenilles qui en émergent (première génération de larves d'été) se dispersent par le vent à l'aide de fils de soie et sont présentes en juillet et août. Ce sont elles qui s'attaquent à la surface des pommes, superficiellement à leur chair ou aux nouvelles pousses (Geest et Evenhuis, 1991) et qui sont responsables de la majorité des dommages observés sur la peau des fruits à la récolte (Chouinard, 1999). Alors qu'une proportion de ces larves entre en diapause en juillet (entre 20 et 90% selon la latitude) (Hunter et McNeil, 2000), les autres continuent leur développement jusqu'au stade adulte en août. Cette seconde génération d'adultes pond à nouveau et les chenilles de la génération suivante se nourrissent pendant quelques semaines avant d'entrer en diapause au 3<sup>e</sup> stade larvaire jusqu'au printemps suivant (fig. I-1).



## Contexte de la lutte biologique par conservation

### Gestion de la TBO en lutte intégrée

La lutte intégrée se définit comme « l'utilisation de différentes stratégies de lutte aux ravageurs en se basant sur des analyses de coûts-bénéfices qui considèrent l'impact des stratégies sur les producteurs, la société et l'environnement, tout comme leur intérêt face aux dites stratégies » (Kogan, 1998). Plus simplement, il s'agit d'une « stratégie de lutte contre les organismes nuisibles qui préconise l'utilisation combinée de méthodes culturales, chimiques et biologiques » (Eilenberg *et al.*, 2001). Les principes généraux de la lutte intégrée sont les suivants : (1) identifier les alliés et les ennemis, (2) dépister et évaluer la situation, (3) utiliser des seuils d'intervention, (4) modifier l'écosystème (de façon à le rendre favorable aux espèces utiles et défavorable aux ravageurs), (5) combiner les méthodes de lutte et (6) évaluer les conséquences et l'efficacité des actions (Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, 1998).

Dans plusieurs vergers du Québec, le contrôle des populations de TBO se fait selon une approche de lutte intégrée (F. Pelletier, comm. pers.). Les stratégies utilisées actuellement combinent le dépistage visuel des larves de TBO et le dépistage des adultes à l'aide de pièges à phéromones, l'utilisation de seuils d'intervention, la modification de la structure du pommier via la taille d'été des gourmands et l'éclaircissage des fruits, et enfin, les interventions avec différents insecticides (Chouinard *et al.*, 2001; Anonyme, 2006). Les larves de TBO sont dépistées (conjointement avec les autres tordeuses) dès le stade bouton rose et jusqu'à la mi-août. Le seuil d'intervention est atteint lorsque des larves sont observées sur 3% des bouquets de fruits ou sur les fruits (ou 10% des pousses en croissance) (Chouinard *et al.*, 2001). Néanmoins, la densité élevée des populations de la tordeuse à bandes obliques ne se traduit pas nécessairement par une plus grande quantité de dommages aux pommes car la TBO peut se nourrir exclusivement sur les feuilles, l'attaque des fruits étant optionnelle. Le dépistage des adultes sert principalement à noter la présence ou l'absence du ravageur dans le verger et à synchroniser le dépistage des larves d'été. Les



méthodes de contrôle préconisées diffèrent en fonction de la génération de TBO visée et de l'abondance d'autres ravageurs.

En période pré-florale, la TBO n'est pas encore très présente car la majorité des larves est toujours en diapause. Les interventions à ce moment visent principalement la punaise terne, *Lygus lineolaris* (P. de B.), et consistent en traitements insecticides avec des pyréthrinoïdes (Chouinard *et al.*, 2001). Les pyréthrinoïdes sont des insecticides de synthèse, apparentés à un insecticide naturel, qui agissent sur le système nerveux en paralysant l'insecte. Leur action se fait principalement par contact et par ingestion. Les pyréthrinoïdes utilisés dans les vergers font partie des 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> générations de pyréthrinoïdes, qui ne sont pas dégradés par la lumière et qui conservent donc leur efficacité pendant une plus longue période. Cependant, comme la plupart sont du type 1 et deviennent moins efficaces lorsque la température s'élève, elles ne doivent pas être appliquées lorsque la température est supérieure à 25°C. Les pyréthrinoïdes sont peu toxiques pour les mammifères mais très toxiques pour plusieurs insectes et acariens utiles (Morin *et al.*, 2001). Bien qu'elles visent spécifiquement la punaise terne, les pyréthrinoïdes peuvent atteindre la faible proportion des larves de TBO sorties de diapause.

Pendant la floraison, plusieurs pomiculteurs louent des abeilles domestiques afin de favoriser la pollinisation. Le simple bon sens et la Loi sur la protection sanitaire des animaux interdisent donc strictement l'application de pesticides toxiques pour les abeilles pendant cette période (Morin et Chouinard, 2001a).

Jusqu'à une semaine après la floraison (période post-florale), la plupart des larves de TBO sont actives et s'alimentent. La période optimale d'intervention contre la TBO se situe 5 jours après le calice. Les interventions contre les larves hibernantes présentes au calice et à la nouaison se font avec des insecticides. Toutefois, le choix de cet insecticide dépend aussi de la présence et de l'abondance d'autres ravageurs présents dans le verger (Anonyme, 2001). Outre la TBO, les principaux ravageurs à considérer à cette période sont l'hoplocampe du pommier (*Hoplocampa testudinea* (Klug)), la mineuse marbrée (*Phyllonorycter blancardella* (F.)) et le charançon de la prune (*Conotrachelus nenuphar* (Herbst)). En général, le traitement dit « du calice » est un traitement majeur où on vise un seul traitement (Anonyme,

2001). Les buts visés sont la diminution de la quantité d'insecticides appliqués, une économie de temps, d'argent et une moindre pollution due à la machinerie. Bien que maintenant non recommandés contre la TBO, les organophosphorés peuvent être utilisés en période post-florale si les seuils d'intervention pour l'hoplocampe sont atteints ou encore si le verger a un historique de dommages de charançon de la prune. On conseille également d'utiliser les produits en alternance afin de prévenir l'apparition de résistance dans les populations traitées.

Enfin, pendant l'été, les méthodes culturales (taille d'été et éclaircissage manuel) sont privilégiées pour minimiser les dégâts potentiels des générations d'été de TBO. La taille d'été consiste à enlever les pousses en croissance (gourmands) dans le but de maintenir une taille réduite de l'arbre et d'augmenter la qualité des fruits (Morgan *et al.*, 1984; Taylor et Feree, 1984). Cette méthode a diminué les dommages de la TBO de 4 à 6 % dans des pommiers standards au stade végétatif (Lawson *et al.*, 1998). L'éclaircissage consiste à réduire le nombre de fruits par bouquet floral (un ou deux), ce qui réduit la charge de l'arbre et augmente la taille et la qualité des fruits résiduels (Faust, 1989). Comme cette pratique limite le nombre de fruits qui sont en contact, cela réduit l'opportunité d'abris pour la TBO; les fruits isolés sont d'ailleurs moins attaqués par la TBO que les fruits groupés (Lawson *et al.*, 1998; Chouinard *et al.*, 2001; Gardner, 2005). Dans une étude faite dans l'état de New York, l'éclaircissage manuel a réduit de 2 à 3 % les dommages aux fruits causés par la TBO dans des pommiers nains et standards (Lawson *et al.*, 1998).

Bien qu'on tente d'éviter tout traitement insecticide pendant l'été, il peut arriver qu'il soit nécessaire d'intervenir. Les organophosphorés, jadis couramment utilisés contre la TBO, ne sont maintenant plus recommandés en raison de leur faible efficacité contre la génération des larves d'été (Chouinard *et al.*, 2001). De plus, les autres produits utilisables ont un impact très négatif sur les insectes et acariens utiles. C'est pourquoi il est rarement conseillé d'appliquer des pesticides de synthèse contre la TBO en période estivale. Si seule la TBO requiert un traitement à cette période, les produits conseillés sont le spinosad (Success 480SC, Entrust 80W), le *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* (Bioprotec CAF, Dipel WP et Foray® 48B), le méthoxyfénozide (Intrepid 240F) et en dernier recours, le méthomyle

(Lannate®), un carbamate toxique pour la faune auxiliaire et les mammifères (Cormier et Chouinard, 2006).

### **Lutte biologique**

Au même titre que la lutte chimique, la lutte biologique est une composante de la lutte intégrée. Eilenberg et ses collègues (2001) ont suggéré la définition suivante de la lutte biologique: « l'utilisation d'organismes vivants pour abaisser les densités de population ou l'impact d'un organisme ravageur spécifique, le rendant moins abondant ou moins dommageable qu'il n'aurait été dans le cas contraire ».

La lutte biologique regroupe quatre stratégies: (1) la *lutte biologique classique* (introduction intentionnelle d'un agent de lutte biologique exotique, qui origine du même milieu géographique et qui a généralement co-évolué avec le ravageur ciblé, dans un but d'établissement permanent et de contrôle à long terme du ravageur); (2) la *lutte biologique par inoculation* (lâcher intentionnel d'un organisme vivant en tant qu'agent de lutte biologique, dans l'espoir qu'il se multiplie et contrôle le ravageur pour une longue période, mais pas de façon permanente); (3) la *lutte biologique par inondation* (utilisation massive d'organismes vivants pour contrôler des ravageurs lorsque ce contrôle est atteint exclusivement par les organismes relâchés); et (4) la *lutte biologique par conservation* (une modification de l'environnement ou l'existence de pratiques dont le but est de protéger et de favoriser les ennemis naturels spécifiques ou d'autres organismes pour réduire l'effet du ravageur) (Eilenberg *et al.*, 2001).

Dans les vergers du Québec en régie intégrée, on utilise le Btk (*Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*), biopesticide homologué contre la TBO par l'ARLA (Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire, 2006). Ce produit est une méthode de lutte biologique (par inondation) utilisée dans les programmes de phytoprotection en gestion intégrée.

### **Lutte biologique par conservation**

La lutte biologique par conservation se distingue des autres stratégies de lutte biologique par le fait que les ennemis naturels sont naturellement présents dans l'environnement. Elle combine la protection des agents de lutte biologique et leur approvisionnement en ressources dans le but d'augmenter leur efficacité. L'usage limité et sélectif des pesticides, la disponibilité de refuges adjacents aux cultures ou à l'intérieur des cultures, la facilitation du transfert des ennemis naturels entre les cultures (via des corridors de dispersion) et l'apport direct de nourriture ou de refuge sont des exemples de pratiques de conservation (van Driesche et Bellows, 1996).

### **Facteurs qui influencent la taille des populations d'insectes**

En raison de la diminution d'efficacité des insecticides conventionnellement utilisés contre la TBO (phénomène de résistance) et dans l'esprit de la multiplicité d'approches en gestion intégrée des ravageurs, des stratégies alternatives de contrôle sont souhaitables. La lutte biologique par conservation visant à protéger les ennemis naturels des ravageurs et à augmenter leur efficacité, il faut connaître à la fois les facteurs qui sont liés à l'abondance des ravageurs et à celle de leurs ennemis naturels. Cette connaissance est nécessaire à la mise en place de mesures ou d'aménagements susceptibles d'améliorer le contrôle du ravageur.

Différents facteurs peuvent influencer l'abondance des insectes. Parmi les facteurs abiotiques, il y a les variables météorologiques (vent, température, précipitations et humidité) (Hati *et al.*, 2005; Siddiqui et Singh, 2006; Ximenes *et al.*, 2006), la topographie et la géographie (montagnes, déserts, océans, climat), de même que les conditions du sol (caractéristiques physico-chimiques et biologiques) (Mahr et Ridgway, 1993). Des facteurs biotiques peuvent aussi favoriser ou non l'abondance des populations : la disponibilité des ressources alimentaires, les interactions de compétition pour cette nourriture ou pour d'autres ressources, la résistance des plantes hôtes, les ennemis naturels (prédateurs, parasitoïdes, nématodes et pathogènes) (Mahr et Ridgway, 1993; Steffan-Dewenter et Tscharntke, 2002).

Enfin, des facteurs anthropiques peuvent s'ajouter, tel les applications d'insecticides. Chez les Tortricidae, on a déjà mentionné la température (Day, 1997) et les espèces hôtes (Nealis et Lomic, 1994) comme facteur influençant l'abondance des populations. La taille des populations de TBO peut donc être sous l'influence de tous ces facteurs.

### **Facteurs liés à la culture elle-même**

En agriculture, les monocultures sont plus sensibles à l'attaque des ravageurs. Certaines hypothèses ont été avancées pour expliquer pourquoi les agroécosystèmes plus diversifiés (polycultures) sont plus stables. Parmi elles, on retrouve *l'hypothèse des ennemis naturels*, selon laquelle l'abondance et la diversité des ennemis naturels des ravageurs sont plus élevées dans les polycultures que dans les monocultures (Root, 1973), parce que ces milieux offrent une plus grande diversité de proies/hôtes et de microhabitats. Des populations de prédateurs généralistes peuvent donc s'y maintenir et mieux contrôler les ravageurs présents dans la culture. Aussi, la fluctuation de l'abondance des prédateurs spécialistes y est moindre car le refuge créé par l'environnement complexe permet à leurs proies d'éviter une annihilation générale (Risch, 1981).

Ainsi, des habitats diversifiés offrent plusieurs ressources importantes pour les prédateurs et parasitoïdes adultes, comme le nectar et le pollen, qui sont moins disponibles dans une monoculture annuelle, ce qui diminue l'émigration ou l'extinction locale (Altieri et Nicholls, 2004). Or, un verger de pommiers est une monoculture pérenne; ceci empêche l'utilisation de certaines méthodes, comme la rotation des cultures utilisée dans les monocultures annuelles, mais certains aménagements peuvent néanmoins être réalisés dans le verger pour favoriser l'activité des prédateurs et parasitoïdes. Par exemple, l'utilisation de couvre-sols fleuris de *Bromus hordeaceus* (Poaceae) en vignobles limite la croissance des mauvaises herbes tout en attirant des prédateurs comme les coccinelles et constitue une source de nourriture pour les parasitoïdes adultes (Altieri *et al.*, 2005).

### **Facteurs liés aux milieux adjacents**

Outre la surface en culture, les milieux avoisinants peuvent influencer les populations d'insectes présents dans la culture, tant les ravageurs que les ennemis naturels. En effet, les habitats naturels qui entourent une culture sont souvent considérés comme un facteur critique de la diversité et de l'abondance des ravageurs (Szentkiralyi et Kozar, 1991). Ainsi, en 1948, Dambach avait conclu que plus les plantes en bordure sont apparentées à celles constituant la culture, plus il y a de risques que ces plantes de bordure constituent une source potentielle d'infestation par des insectes nuisibles à la culture. Ainsi, en plus des pommiers présents dans les vergers, la TBO peut se nourrir sur les espèces végétales présentes dans l'environnement du verger. Or les vergers commerciaux sont fréquemment situés à flanc de montagne et avoisinent des zones boisées en exploitation ou non. Suivant la conclusion de Dambach (1948) et puisque la TBO est une espèce polyphage qui se nourrit sur plus de 70 espèces végétales (Prentice, 1965) un verger de pommiers pourrait présenter plus de risques d'infestation par des TBO issues des boisés adjacents s'ils contiennent des plantes de la famille des Rosaceae (famille à laquelle appartient le pommier) et d'autres espèces hôtes de cette tordeuse. Les boisés adjacents aux vergers, exempts d'applications d'insecticides, pourraient donc constituer des « réservoirs » de TBO, à partir desquels des individus coloniseraient l'intérieur des vergers.

Par ailleurs, les habitats en périphérie des cultures jouent aussi un rôle important comme réservoirs d'ennemis naturels des ravageurs (Wratten, 1988). Ces milieux peuvent fournir un refuge (Coli *et al.*, 1994; Tuovinen, 1994; Smith *et al.*, 1996; Kawai, 1997), un site d'hibernation (Thomas *et al.*, 1992; Toepfer *et al.*, 1999), de la nourriture (Smith et Papacek, 1991; Bowie *et al.*, 1999) ou encore des proies/hôtes alternatifs à ces ennemis naturels (Maltais *et al.*, 1989; Corbett et Rosenheim, 1996). De nombreuses études ont documenté le rôle important de la végétation naturelle dans l'apport en nourriture, en habitat et en proies/hôtes alternatifs pour les prédateurs et parasitoïdes des ravageurs d'une culture (passés en revue par Boatman, 1994). Ainsi, les milieux adjacents aux vergers, comme les boisés, peuvent abriter des populations d'ennemis naturels de la TBO. Dans ces lieux, ils sont

également à l'abri des insecticides appliqués dans les vergers et peuvent disposer de ressources alimentaires autres que celles qu'ils trouvent en verger.

La composition des boisés adjacents aux vergers de pommiers peut donc influencer les populations d'insectes présents en verger. Dans le contexte de la lutte biologique, le rôle de ces boisés est d'une grande importance, puisqu'ils peuvent favoriser différemment la TBO ou ses ennemis naturels. De ce fait, l'aménagement d'un verger devrait tenir compte non seulement de ses caractères intrinsèques (cultivars, historique de ravageurs et maladies, type de sol, etc.), mais également des caractéristiques de son environnement.

#### **État des connaissances sur les facteurs abiotiques et biotiques responsables des fluctuations de TBO**

Les fluctuations des populations de la TBO n'ont pas fait l'objet de recherches particulières à ce jour. Néanmoins, on sait que les épidémies ou les fluctuations des populations de certains Tortricidae (et plus largement, des Lépidoptères en général) sont reliés à la température (Mohapatra *et al.*, 1989; Swengel et Swengel, 1996; Day, 1997; Roy *et al.*, 2001) et aux plantes-hôtes (Nealis et Lomic, 1994; Swengel et Swengel, 1996). D'autres ont établi des liens avec les précipitations ou le vent (Mohapatra *et al.*, 1989; Roy *et al.*, 2001). Chez la TBO, des études ont été faites sur l'influence de la diète sur des paramètres physiologiques ou comportementaux (Carrière, 1992a; Carrière et Roitberg, 1994; Carrière *et al.*, 1995), mais il n'y a pas d'étude à l'échelle des populations.

#### **État des connaissances sur les parasitoïdes larvaires de la TBO**

Des études ont démontré que la TBO possède une guildes de parasitoïdes larvaires diversifiée. Une vingtaine d'espèces de diptères (appartenant à la famille des Tachinidae) et d'hyménoptères (appartenant aux familles des Ichneumonidae, des Braconidae et des Eulophidae) s'attaquent aux larves de la TBO en Colombie-Britannique (Li *et al.*, 1999; Vakenti *et al.*, 2001; Cossentine *et al.*, 2004; Cossentine *et al.*, 2005), au Québec (Maltais *et*

*al.*, 1989; Sackett *et al.*, 2007), en Californie (Krugner *et al.*, 2005), au Michigan (Wilkinson *et al.*, 2004), dans l'état de New-York (Sarvary *et al.*, 2007) et dans l'état de Washington (Brunner, 1996). L'abondance et la diversité des espèces de parasitoïdes varient en fonction de la culture, la région de culture et la génération de larves de TBO.

### **Objectifs et hypothèses de travail**

À la lumière de ce qui précède, la présente recherche (d'approche descriptive) s'inscrit dans le contexte de la lutte biologique par conservation. Un premier objectif consiste à évaluer le rôle de certains facteurs abiotiques (température, humidité, précipitations) et biotiques (plantes hôtes) sur l'abondance des populations de la TBO dans deux régions géographiques du sud du Québec, la Montérégie-Est et Brome-Missisquoi. Un deuxième objectif vise à inventorier une catégorie d'ennemis naturels de la TBO, les parasitoïdes larvaires. Le dernier objectif est de quantifier l'intensité du parasitisme de la TBO dans les vergers commerciaux du sud du Québec et leur boisé adjacent.

Pour atteindre ces objectifs, les hypothèses suivantes ont été testées :

- 1) L'abondance de la TBO est plus élevée en Montérégie-Est que dans Brome-Missisquoi.
- 2) La température et la proportion des plantes-hôtes présentes dans le boisé sont plus élevées en Montérégie-Est que dans Brome-Missisquoi.
- 3) L'abondance de la TBO est positivement reliée à la température et à la proportion des plantes-hôtes présentes dans le boisé.
- 4) Le niveau de parasitisme varie en fonction du lieu d'exposition (verger, bordure ou boisé).



**CHAPITRE II :**

**ARTICLE I**

## INFLUENCE DE FACTEURS BIOTIQUES ET ABIOTIQUES SUR L'ABONDANCE DES POPULATIONS DE TORDEUSE À BANDES OBLIQUES

Jacinthe Tremblay<sup>1</sup>, Éric Lucas<sup>1</sup>, Jacques Brodeur<sup>2</sup> et Daniel Cormier<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Département des sciences biologiques, Université du Québec à Montréal  
Case postale 8888, Succursale Centre-ville, Montréal (Québec), H3C 3P8

<sup>2</sup> Institut de recherche en biologie végétale, Université de Montréal  
4101 rue Sherbrooke Est, Montréal (Québec), Canada H1X 2B2

<sup>3</sup> Institut de recherche et de développement en agroenvironnement  
3300 rue Sicotte, C.P. 480, Saint-Hyacinthe (Québec), Canada J2S 7B8

**Résumé :** La tordeuse à bandes obliques est un ravageur important dans les vergers de pommiers. La présente étude a pour but de comparer les régions de Brome-Missisquoi et de la Montérégie-Est (sud du Québec) pour (1) établir si des différences existent dans l'abondance des populations de la tordeuse à bandes obliques, et (2) identifier les variables indépendantes (météorologiques et de végétation) qui influencent l'abondance de leurs populations. Les populations de la tordeuse à bandes obliques ont été estimées à l'aide de pièges à phéromone en 2005 et 2006, dans une dizaine de sites de la Montérégie-Est et de Brome-Missisquoi, et ont été mises en relation avec les données de température, d'humidité relative et de précipitations, ainsi que les caractéristiques végétales. La tordeuse à bandes obliques était plus abondante en Montérégie-Est. La température était plus élevée en Montérégie-Est, les précipitations ont été plus abondantes dans Brome-Missisquoi et l'humidité relative était similaire dans les deux régions. Les sites de la Montérégie-Est comprenaient près de deux fois plus d'espèces-hôtes de la tordeuse à bandes obliques et trois fois plus d'érable à sucre que les sites de Brome-Missisquoi. La proportion de Rosacées, la diversité végétale et la richesse spécifique des végétaux étaient similaires dans les deux régions. La température était corrélée positivement avec l'abondance de la tordeuse à bandes obliques. Des corrélations négatives ont été décelées entre l'abondance de la tordeuse à bandes obliques et les précipitations, mais aucune corrélation n'a été trouvée avec l'humidité relative. La proportion des espèces-hôtes en boisé a été reliée de façon constante à l'abondance des populations de la tordeuse à bandes obliques. Bien que cette étude ne permette pas d'établir avec certitude les causes des différences régionales d'abondance, nos résultats confirment ceux d'autres études réalisées à plus grande échelle. D'autres facteurs sont à investiguer tels le contrôle des populations de TBO par les ennemis naturels, l'intensité de la pression phytosanitaire et la résistance des populations d'insectes aux produits utilisés.

**Mots-clefs :** *Choristoneura rosaceana*, régions géographiques, populations, température, humidité, précipitations, végétation.

## 1. Introduction

Les facteurs invoqués pour expliquer l'abondance des populations chez les insectes se répartissent en deux catégories : les facteurs abiotiques et les facteurs biotiques (Begon *et al.*, 1996). Parmi les facteurs abiotiques, on retrouve les variables météorologiques (vent, température, précipitations et humidité) (Hati *et al.*, 2005; Siddiqui et Singh, 2006; Ximenes *et al.*, 2006), la topographie et la géographie (montagne, désert, océan, climat) et les conditions du sol (caractéristiques physico-chimique et biologiques) (Mahr et Ridgway, 1993). Les facteurs biotiques incluent la compétition pour la nourriture et autres ressources, la résistance des plantes-hôtes et l'action des ennemis naturels (prédateur, parasitoïde, nématode et entomopathogène) (Steffan-Dewenter et Tschamtkke, 2002). Des facteurs anthropiques peuvent s'ajouter, tel les applications d'insecticides, la taille des pousses annuelles, etc.

La température influence souvent les populations de Lépidoptères. Mohapatra et ses collègues (1989) ont démontré que les fluctuations des populations de Lépidoptères ravageurs dans les forêts semidécidues en Inde sont dues en partie à des variations de température. L'abondance du Bleu mélissa, *Lycaeides melissa samuelis* (Lepidoptera : Lycaenidae), au Wisconsin augmente avec la température (Swengel et Swengel, 1996). Au Royaume-Uni, les fortes populations de certaines espèces de Nymphalidae (Roy *et al.*, 2001) étaient associées à un été chaud durant l'année en cours et l'année précédente. Mohapatra et ses collègues (1989) ont aussi relié les fluctuations des populations de Lépidoptères à des variations dans l'humidité et les précipitations. Roy et ses collègues (2001) ont établi des associations positives entre l'abondance de certaines espèces de Lépidoptères (Hesperiidae, Nymphalidae et Pieridae) et de faibles précipitations dans l'année en cours de même qu'avec de fortes précipitations dans l'année précédente (Hesperiidae, Lycaenidae, Nymphalidae et Pieridae). On rapporte également l'influence des changements dans la vitesse du vent (Mohapatra *et al.*, 1989). En ce qui a trait aux facteurs biotiques, Swengel et Swengel (1996) mentionnaient que l'abondance du Bleu mélissa au Wisconsin augmentait avec l'abondance des espèces-hôtes pour les larves. Par contre, Shreeve (1986) n'a noté aucune relation claire entre l'abondance

des plantes-hôtes de *Pararge aegeria* (L.) (Lepidoptera : Nymphalidae) et l'utilisation de ces plantes-hôtes comme lieu de ponte.

Chez les Tortricidae, des records historiques d'épidémies de tordeuse grise (*Zeiraphera diniana* Guenée) en Bretagne ont été associés à des températures d'août plus faibles que la moyenne (Day, 1997). Au Michigan et en Ontario, les populations de la tordeuse du pin gris (*Choristoneura pinus* Freeman) étaient plus faibles dans des peuplements comptant moins de cônes pollinifères, leur source de nourriture (Nealis et Lomic, 1994).

Au Québec, en 2004, les données du Réseau-Pommier indiquaient de très fortes captures de tordeuse à bandes obliques (TBO), *Choristoneura rosaceana* Harris (Lepidoptera : Tortricidae), dans le verger expérimental de St-Bruno, des captures moyennes dans les vergers de la Montérégie-Est, du sud-ouest de Montréal ainsi que des Laurentides, et des captures faibles dans les vergers des régions de Québec, de l'Estrie et de Missisquoi (Bellerose, 2004a-e). Ces données n'ont cependant pas été étudiées plus intensivement à ce jour et l'origine de ces différences n'a pas non plus été investiguée. Il importe donc de comprendre les facteurs du milieu qui conditionnent l'abondance des populations de la TBO.

Il est probable qu'une différence géographique dans ces facteurs abiotiques et biotiques se traduise par des abondances différentes des populations de la TBO. Nous comparerons ici les régions de la Montérégie-Est et de Brome-Missisquoi pour (1) établir si des différences existent dans l'abondance des populations de la tordeuse à bandes obliques, et (2) identifier les variables indépendantes (géomorphologiques, météorologiques et de végétation) qui influencent l'abondance de leurs populations.

## 2. Méthodologie

### 2.1 Sites d'échantillonnage

Des sites d'échantillonnage ont été choisis en Montérégie-Est et dans Brome-Missisquoi (fig. II-1). À l'intérieur des sites, une parcelle comprenant au moins un hectare de verger et

un hectare de boisé (les deux hectares étant adjacents) a été établie. La frontière séparant le boisé du verger a été désignée comme l'« interface boisé-verger ». La section du verger de tous les sites était sous régie intégrée. Les sites sélectionnés devaient respecter les critères suivants : présence des cultivars Cortland et/ou Lobo (dont le feuillage dense favorise la ponte de la TBO), pommiers standards ou semi-nains et présence antérieure de TBO (problématique ou non) dans le verger.

L'échantillonnage de la première année (2005) s'est déroulé dans trois sites en Montérégie-Est (deux à Rougemont et un à Saint-Bruno-de-Montarville) et dans trois sites dans Brome-Missisquoi (deux à Dunham et un à Frelighsburg). Pour des questions techniques, le site de Frelighsburg utilisé en 2005 a été troqué pour un nouveau site en 2006. Quatre autres sites se sont également ajoutés pour avoir au total dix sites en 2006, soit cinq sites en Montérégie-Est [St-Bruno-de-Montarville (1), Rougemont (2), St-Paul-d'Abbotsford (2)] et cinq sites dans Brome-Missisquoi [Dunham (3) et Frelighsburg (2)]. De plus amples détails concernant les latitude, longitude, altitude et pente des différents sites sont présentés à l'appendice A, de même que leur moyenne régionale à l'appendice B.

## 2.2 *Évaluation de l'abondance des populations de TBO*

Les populations de TBO adultes ont été estimées à l'aide de pièges Pherocon® 1C (Trécé Inc.) munis d'une capsule de phéromone sexuelle de l'espèce de la marque Scentry<sup>MC</sup> (Scentry Biologicals Inc.). En 2005, un piège a été installé dans le verger et un piège dans le boisé, pour chaque site, à environ 1 m 50 du sol et à au moins 50 m de l'interface boisé-verger et des autres milieux entourant le verger, pour éviter un effet latéral de ces milieux environnants. En 2006, le nombre de pièges a été doublé : deux pièges dans le verger et deux pièges dans le boisé de chaque site (situés à au moins 50 m l'un de l'autre, à chaque endroit). À chaque année, les capsules de phéromone ont été renouvelées à chaque mois afin d'assurer une attractivité similaire tout au long de l'expérience. Tous les pièges ont été relevés hebdomadairement de juillet à septembre (9 semaines) en 2005 et de juin à septembre (13 semaines) en 2006. L'installation de pièges à la fois en verger et en boisé avait pour but de

déterminer si une corrélation existait entre l'abondance de la TBO en verger et son abondance dans le boisé adjacent.

### 2.3 *Données météorologiques*

Nous avons utilisé les données des stations météo des vergers pilotes du Réseau-Pommier, soit celles de Dunham, Frelighsburg-Jobin, Rougemont, Saint-Bruno-de-Montarville et St-Paul-d'Abbotsford. Les données manquantes du Réseau-Pommier ont été remplacées par celles des stations météo situées le plus près des stations du Réseau-Pommier, obtenues du site des Archives climatiques nationales (Environnement Canada, 2006) les plus proches des stations du Réseau-Pommier. Nous avons utilisé les données de 2004, 2005 et 2006, pour les mois d'avril, mai, juin, juillet, août et septembre, ainsi que des moyennes pour l'ensemble de la saison (avril à septembre). Les données utilisées étaient les suivantes :

- Température moyenne mensuelle (moyenne des températures moyennes quotidiennes du mois);
- Température moyenne saisonnière (moyenne des températures moyennes quotidiennes du 1<sup>er</sup> avril au 30 septembre);
- Température maximale mensuelle (moyenne des températures maximales quotidiennes du mois);
- Température maximale saisonnière (moyenne des températures maximales quotidiennes du 1<sup>er</sup> avril au 30 septembre);
- Température minimale mensuelle (moyenne des températures minimales quotidiennes du mois);
- Température minimale saisonnière (moyenne des températures minimales quotidiennes du 1<sup>er</sup> avril au 30 septembre);
- Humidité relative mensuelle (moyenne des données quotidiennes d'humidité relative du mois);
- Humidité relative saisonnière (moyenne des données quotidiennes d'humidité relative du 1<sup>er</sup> avril au 30 septembre);

- Précipitations mensuelles (total des précipitations quotidiennes du mois);
- Précipitations saisonnières (total des précipitations quotidiennes du 1<sup>er</sup> avril au 30 septembre).

Idéalement, il aurait été préférable d'obtenir des données météorologiques prises dans les sites d'échantillonnage, mais l'utilisation de moyennes mensuelles près des sites d'échantillonnage pour chaque année d'étude correspond aux recommandations de Geest et Evenhuis (1991).

#### 2.4 Données végétales

Dans chaque boisé, une caractérisation de la végétation a été effectuée à la fin de juin 2006 selon un échantillonnage systématique aléatoire (« random systematic design ») (Barbour *et al.*, 1999). À partir de deux points de départ choisis au hasard sur l'interface boisé-verger, des transects perpendiculaires à cet interface et s'enfonçant dans le boisé ont été établis; deux quadrats de 100 m<sup>2</sup> (10 X 10 m) ont été établis sur chaque transect, à des distances respectives de 20-30 m et de 50-60 m de l'interface boisé-verger. Dans chaque quadrat, les arbres, gaulis d'arbres et grands arbustes [classifiés selon le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) : arbres = DHP  $\geq$  10 cm; gaulis d'arbres et grands arbustes = DHP de 1 < 10 cm] ont été identifiés à l'espèce à l'aide de la Flore Laurentienne du Frère Marie-Victorin (1995) ainsi que la Petite Flore forestière (Ministère de l'énergie et des ressources du Québec, 1990) et dénombrés. Les plantes herbacées ont été identifiées et le pourcentage de recouvrement de chaque espèce, estimé de façon visuelle. Dans la bordure de chaque boisé (végétation du boisé qui se trouve dans les 3 m à partir de l'interface boisé-verger), les espèces végétales arborescentes, arbustives et herbacées ont été identifiées et leur pourcentage de recouvrement, estimé visuellement. Une description précise de la composition des boisés est présentée à l'appendice C.

À partir des données recueillies, nous avons établi des caractéristiques pour chaque site selon trois catégories : (1) arbres et grands arbustes en boisé, (2) herbacées et petits arbustes en boisé et (3) végétation de bordure (arbres, grands et petits arbustes et herbacées

confondus). Ces caractéristiques étaient : la diversité végétale, estimée avec l'indice de diversité  $H'$  de Shannon (Shannon, 1948 ; Magurran, 2004) et l'indice de diversité  $D$  de Simpson (Simpson, 1949; Magurran, 2004), l'équitabilité (qui exprime la répartition des individus entre les différentes espèces présentes) estimée avec l'indice d'équitabilité  $J'$  de Pielou (Pielou, 1966; Magurran, 2004) et l'indice d'équitabilité  $E$  de Simpson (Simpson, 1949; Magurran, 2004), et enfin la dominance  $d$  de Berger-Parker (Berger et Parker, 1970; Magurran, 2004) qui exprime l'importance proportionnelle des espèces les plus abondantes ou espèces dominantes.

S'ajoutent également dans la catégorie 1 (arbres et grands arbustes en boisé) : l'espèce dominante, la richesse en espèces, la densité, la proportion de conifères, le ratio feuillu/conifère et la proportion d'espèces hôtes de la TBO (dont les Rosacées et l'érable à sucre). Dans la catégorie 2 (herbacées, petits arbustes et semis en boisé), nous avons établi l'espèce dominante, la richesse en espèces, la surface totale recouverte par les herbacées et petits arbustes, et la proportion d'espèces hôtes de la TBO (dont les Rosacées). Dans la catégorie 3 (végétation de bordure – arbres, grands et petits arbustes et herbacées confondus), nous avons également établi l'espèce dominante, la richesse en espèces, la surface totale recouverte par la végétation et la proportion d'espèces hôtes de la TBO (dont les Rosacées). Certaines caractéristiques (ex. : proportion des espèces hôtes) ont été calculées à la fois sur la base du nombre de tiges et de la surface terrière (Roberts-Pichette et Gillespie, 1999; Bérard et Côté, 1996). Les caractéristiques et les indices sont présentés en détail pour chaque boisé à l'appendice D.

## 2.5 *Analyses statistiques*

### *Abondance des tordeuses adultes*

L'unité expérimentale était le site. Comme il n'y avait qu'un seul piège à phéromone en verger et en boisé en 2005, nous avons donc utilisé le nombre total de TBO capturées; en 2006, ayant deux pièges en verger et en boisé, nous avons établi la moyenne des captures de



ces deux pièges. Nous avons analysé séparément les données de captures en boisé et celles en verger, à cause de l'application d'insecticides en verger, mais le lien entre l'abondance de la TBO en verger et son abondance en boisé a été testé avec un test de corrélation paramétrique. Un test de comparaison de deux coefficients de corrélation linéaire de Pearson a été fait pour déterminer si la relation entre les abondances de la TBO en verger et en boisé varie selon la région géographique.

L'abondance moyenne des tordeuses adultes dans les sites de la Montérégie-Est et les sites de Brome-Missisquoi a été comparée avec un test de  $t$  de Student pour deux groupes, au seuil de  $\alpha=0,05$  (globalement pour la saison et par génération). Pour les tests où les deux générations d'adultes étaient considérées séparément, les captures réalisées dans les semaines comprises entre le 5 juin et le 24 juillet étaient celles de la 1<sup>ère</sup> génération et celles réalisées dans les semaines des 31 juillet au 4 septembre étaient celles de la 2<sup>e</sup> génération.

#### *Données météorologiques*

Les données météorologiques (température moyenne, température maximale, température minimale, humidité relative et précipitations) ont été analysées avec un test de  $t$  de Student pour deux groupes ( $\alpha=0,05$ ) afin d'établir si les régions de la Montérégie-Est et de Brome-Missisquoi présentaient des profils météorologiques différents. Les données de chaque année ont été analysées séparément puisque le nombre de sites (effectif) et les sites eux-mêmes n'étaient pas tous les mêmes pour 2005 et 2006. Ces données météo ont également été mises en relation avec l'abondance de la TBO (en boisé) de la même année et de l'année suivante afin d'identifier d'éventuelles relations (tests de corrélations multiples).

#### *Données végétales*

Des tests de  $t$  de Student pour deux groupes ( $\alpha=0,05$ ) ont été effectués pour comparer les moyennes de chaque variable entre la Montérégie-Est et Brome-Missisquoi. Les données de

chaque année ont été analysées séparément (pour les mêmes raisons que dans le cas des données météorologiques). Des corrélations et régressions simples ont été faites entre l'abondance des tordeuses d'une part et chacune des caractéristiques végétales des boisés d'autre part.

Les conditions d'application de chaque test ont été vérifiées. Nous n'avons pas pu faire d'analyses multivariées car le nombre de réplicats était insuffisant. Dans le cas où plusieurs corrélations étaient analysées simultanément, aucune correction pour la multiplicité des tests n'a été appliquée suivant la recommandation de Waite et Campbell (2006), qui stipule qu'appliquer cette correction dans le cas d'analyses exploratoires (comme celle-ci) peut dissimuler des relations *potentiellement* causales. Toutes les analyses ont été réalisées avec le logiciel JMP 5.1.2 (SAS Institute 2004).

### 3. Résultats

#### Abondance des tordeuses adultes

Les abondances de TBO relevées démontraient une disparité régionale (fig. II-2). Le nombre de TBO capturées en boisé était significativement plus élevé en Montérégie-Est que dans Brome-Missisquoi en 2005 ( $t_4=3,07$ ;  $p=0,0371$ ) et 2006 ( $t_8=5,00$ ;  $p=0,0011$ ); de même, nous avons capturé davantage de TBO dans les vergers de la Montérégie-Est que dans ceux de Brome-Missisquoi en 2005 ( $t_4=3,85$ ;  $p=0,0182$ ) et 2006 ( $t_8=5,04$ ;  $p=0,0010$ ). Nous confirmons donc ici notre première hypothèse. La quantité de TBO capturées en verger était très fortement et positivement corrélée à la quantité de TBO capturées dans le boisé adjacent (2005 :  $r=0,89$ ,  $p=0,0160$ , 2006 :  $r=0,93$ ,  $p=0,0001$ ). La force de cette relation était similaire dans les deux régions.

Le patron saisonnier des captures en boisé (fig. II-3) illustre les différences entre l'abondance moyenne de la TBO dans les deux régions géographiques au cours de la saison. Les captures de 2006 s'étant échelonnées sur une plus grande période de temps, on distingue deux générations d'adultes (la première en fin juin-début juillet et la seconde en août). La

TBO était également plus abondante en Montérégie-Est pour chacune de ces générations (2005, 2<sup>e</sup> génération :  $t_4=3,12$ ,  $p=0,0355$ ; 2006, 1<sup>ère</sup> génération :  $t_8=2,91$ ,  $p=0,0195$ ; 2006, 2<sup>e</sup> génération :  $t_8=16,34$ ,  $p<0,0001$ ).

## **Données météorologiques**

### *Température régionale*

En 2005 et 2006, les moyennes saisonnières étaient supérieures en Montérégie-Est (tabl. II-1). En 2005, les températures moyennes et maximales, respectivement, y étaient de 0,4°C ( $t_8=2,80$ ;  $p=0,0231$ ) et 0,8°C ( $t_8=4,77$ ;  $p=0,0014$ ) supérieures à celles de Brome-Missisquoi; enfin en 2006, les températures moyennes ( $t_8=3,90$ ;  $p=0,0045$ ) et maximales ( $t_8=3,55$ ;  $p=0,0075$ ) étaient supérieures de 0,5°C à celle de Brome-Missisquoi.

En 2004, les températures maximales en début de saison étaient plus élevées en Montérégie-Est. En 2005, les températures moyenne et maximale étaient supérieures en Montérégie-Est, de l'ordre de 1,2 et 1,8°C respectivement. La Montérégie-Est a connu en 2005 des températures maximales plus chaudes que Brome-Missisquoi, mais les températures minimales d'août et de septembre y étaient plus fraîches (donc des écarts de température plus importants). La saison 2006 a montré des températures moyennes et maximales plus élevées en Montérégie-Est. Ces comparaisons entre les deux régions sont en accord avec notre deuxième hypothèse.

Des corrélations positives significatives ont été décelées entre l'abondance de la TBO et la température de l'année courante, en accord avec notre troisième hypothèse. Ainsi, en 2005, l'abondance de la TBO était reliée aux températures maximales ayant eu cours dans la saison entière ( $p=0,0292$ ,  $r=0,85$ ,  $r^2=0,73$ ), en mai ( $p=0,0146$ ,  $r=0,89$ ,  $r^2=0,80$ ), en juin ( $p=0,0348$ ,  $r=0,846$ ,  $r^2=0,71$ ) et en août ( $p=0,0129$ ,  $r=0,90$ ,  $r^2=0,82$ ). En 2006, l'abondance de la TBO a été fortement reliée aux températures moyennes dans l'ensemble de la saison (tabl. II-2). Des corrélations positives significatives ont aussi été trouvées entre l'abondance de la TBO et la température de l'année précédente. Plus les températures maximales atteintes au cours de la

saison 2004 (et particulièrement en juin et septembre) étaient élevées, plus il y a eu de TBO en 2005; d'autre part, ce sont plutôt les températures moyennes de l'année 2005 qui ont influencé l'abondance de la TBO en 2006.

L'abondance des adultes de 1<sup>ère</sup> génération a été reliée positivement à la température maximale de septembre de l'année précédente ( $p=0,0204$ ,  $r=0,8810$ ,  $r^2=0,77$ ), qui était supérieure de  $0,5^{\circ}\text{C}$  en Montérégie-Est ( $t_4 = 3,14$ ;  $p=0,0348$ ). En 2006, elle était corrélée à la température moyenne d'août de l'année précédente ( $p=0,0143$ ,  $r=0,7404$ ,  $r^2=0,54$ ). L'abondance des adultes de cette génération a aussi été reliée positivement aux températures maximales du début de saison courante en 2005 (avril, mai et juin) tandis qu'en 2006, elle était plutôt reliée aux températures moyennes de ces mêmes mois. L'abondance des adultes de 2<sup>e</sup> génération a été positivement reliée aux températures moyenne de juin, maximale saisonnière et maximale de septembre de l'année précédente. Toujours pour les deux années de l'étude, elle était aussi corrélée positivement à la température maximale de la saison en cours, de même que la température maximale en début de saison (mai et juin de l'année courante).

### *Précipitations régionales*

Les précipitations totales (mensuelles et saisonnières) variaient considérablement d'une année à l'autre et au cours de la saison (tabl. II-3), sans offrir de patron constant. En 2004, les sites de Brome-Missisquoi ont reçu davantage de pluie (165 mm de plus) que la Montérégie-Est ( $t_4=3,63$ ;  $p=0,0220$ ); ces précipitations plus importantes ont eu lieu en mai, juin et août. Les précipitations saisonnières pour 2005 étaient similaires, mais la Montérégie-Est a reçu davantage de précipitations en août. En 2006, les précipitations saisonnières ont été plus abondantes dans Brome-Missisquoi (148 mm de plus :  $t_8=3,25$ ;  $p=0,0117$ ), particulièrement en juin. Soulignons enfin que l'année 2006 a été particulièrement pluvieuse en mai et juin pour les deux régions.

Des corrélations significatives ont été décelées entre les précipitations d'une année et l'abondance de la TBO la même année, et aussi de l'année suivante (tabl. II-4). On constate

que plus les précipitations étaient élevées en août et septembre 2005, plus l'abondance de la TBO était élevée en 2006. L'abondance des adultes de la 1<sup>ère</sup> génération a été positivement corrélée en 2006 aux précipitations d'août 2005 ( $p=0,0016$ ,  $r=0,8550$ ,  $r^2=0,73$ ) et septembre 2005 ( $p=0,0166$ ,  $r=0,7298$ ,  $r^2=0,53$ ). L'abondance des adultes de la 2<sup>e</sup> génération a aussi été positivement corrélée en 2006 aux précipitations d'août 2005 ( $p<0,0001$ ,  $r=0,9446$ ,  $r^2=0,89$ ) et septembre 2005 ( $p<0,0001$ ,  $r=0,9575$ ,  $r^2=0,91$ ).

### *Humidité régionale*

L'humidité relative augmentait progressivement au cours de la saison estivale, variant entre 65-70 % en avril et 83-87 % en septembre. Aucune différence significative n'a été trouvée entre les deux régions et ce, pour les trois années, tant pour les données saisonnières que mensuelles. Il n'y avait aucune relation entre l'humidité relative et l'abondance de la TBO ni en 2005, ni en 2006.

### **Données végétales**

Les régions de la Montérégie-Est et de Brome-Missisquoi présentaient des différences dans la composition de leurs boisés (tabl. II-5). Nous avons observé en Montérégie-Est près de deux fois plus d'arbres étant des espèces-hôtes de la TBO comparativement à Brome-Missisquoi, complétant ainsi la validation de notre deuxième hypothèse.

Les boisés de la Montérégie-Est étaient composés exclusivement de feuillus et dominés par l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.); la surface terrière occupée par cette espèce y était environ trois fois plus importante que dans Brome-Missisquoi. C'était toujours l'espèce dominante en terme de surface terrière et souvent en terme de nombre de tiges ; les autres espèces dominantes (en nombre de tiges) retrouvées étaient la ronce occidentale (*Rubus occidentalis* L.) et le peuplier à grandes dents (*Populus grandidentata* Michx.), également des espèces hôtes de la TBO. Les boisés de Brome-Missisquoi se distinguaient par la présence de

conifères (forêts naturelles ou plantations), présents dans des proportions de 0 à 66% de la surface terrière. Ces conifères étaient le pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.), le pin rouge (*Pinus resinosa* Ait.), la pruche du Canada (*Tsuga canadensis* (L.) Carr.), l'épinette blanche (*Picea glauca* (Moench) Voss) et le thuya occidental (*Thuja occidentalis* L.). L'érable à sucre y était aussi présent, représentant 2 à 40% de la surface terrière. Dans deux sites, la surface terrière était dominée par des feuillus, soit l'érable à sucre et l'ostryer de Virginie (*Ostrya virginiana* (Miller) K. Koch.). Nous n'avons pas observé de différence régionale au niveau des herbacées du boisé, ni des plantes en bordure du boisé. La proportion des Rosacées, la diversité végétale, la richesse spécifique et la densité des arbres étaient similaires dans les deux régions.

En considérant les abondances cumulatives d'une saison, les variables qui ont été reliées à l'abondance de la TBO en 2005 sont essentiellement celles traitant des espèces hôtes (tabl. II-6). La proportion de la bordure constituée par des espèces hôtes était fortement reliée à l'abondance de la TBO, et ce pour les deux générations d'adultes. En 2006, les captures de TBO augmentaient avec la proportion d'érable à sucre ( $\text{m}^2/\text{ha}$ ) (1<sup>ère</sup> génération d'adultes :  $p=0,003$ ,  $r=0,82$ ,  $r^2=0,68$  ; 2<sup>e</sup> génération d'adultes :  $p=0,007$ ,  $r=0,78$ ,  $r^2=0,61$ ). L'indice de dominance  $d$  chez les arbres reflète en fait la proportion d'érable à sucre puisque c'était l'espèce la plus abondante dans cette catégorie. Les captures de TBO de 2<sup>e</sup> génération ont été plus abondantes dans les sites ayant une forte proportion des espèces hôtes arborescentes dans le boisé (en 2005 :  $p=0,0225$ ,  $r=0,92$ ,  $r^2=0,86$  et en 2006 :  $p=0,0135$ ,  $r=0,74$ ,  $r^2=0,55$ ). Rappelons que la proportion d'espèces hôtes arborescentes en boisé était plus grande en Montérégie-Est. Aussi, l'érable à sucre considéré seul a été positivement corrélé aux deux générations de TBO. Ces relations positives entre la proportion de plantes-hôtes et l'abondance de la TBO sont en accord avec notre troisième hypothèse. La diversité des herbacées a aussi été corrélée positivement à l'abondance de la 1<sup>ère</sup> génération de TBO en 2006 ( $p=0,0284$ ,  $r=0,68$ ,  $r^2=0,47$ ).

#### 4. Discussion

Les données qui ont été reliés à l'abondance de la TBO sont la végétation des boisés et la température.

La Montérégie-Est et Brome-Missisquoi se différencient par la composition de la végétation de leurs boisés, principalement par la proportion en espèces hôtes de la TBO incluant la proportion d'érable à sucre, plus abondants en Montérégie-Est. Ce sont précisément ces variables qui ont été reliées à l'abondance de la TBO. Bien que la proportion des espèces-hôtes en bordure des boisés a été reliée positivement à l'abondance de la TBO chez les deux générations, cela n'explique pas la différence régionale dans l'abondance des populations de la TBO puisque la composition des plantes en bordure est similaire dans les deux régions.

À l'échelle locale, il est reconnu que les espèces-hôtes dans l'habitat des Lépidoptères peuvent influencer certaines variables démographiques. Carrière (1992a) a déjà démontré que le poids des pupes, le temps de développement et la propension à la diapause étaient influencés par la diète chez la TBO. Il a aussi montré que la dispersion des jeunes larves est influencée par leur âge et leur origine familiale (Carrière, 1992b). La TBO démontre des préférences quant à l'espèce hôte choisie pour la ponte (Carrière *et al.*, 1995). En 2004, Matsumura identifiait la quantité de plantes-hôtes comme étant le deuxième facteur d'importance pour la convenance d'un site pour l'oviposition chez *Luehdorfia puziloi inexpecta* Sheljuzhko (Lepidoptera : Papilionidae). Les espèces-hôtes interviennent donc au niveau du comportement des individus dans leur habitat.

À l'échelle régionale, il est aussi reconnu que les espèces-hôtes influencent les populations de lépidoptères, surtout les populations des espèces plutôt monophages. La présence, l'abondance et/ou la densité des espèces-hôtes affectent la survie des larves ou des adultes en étant leur source alimentaire ; les espèces-hôtes peuvent également favoriser ou non la ponte. En observant la survie de cohortes d'œufs dans des parcelles des différentes tailles, Zalucki et Kitching (1982) avaient trouvé que la taille des parcelles contenant des

espèces-hôtes était reliée positivement à la mortalité des stades larvaires chez les populations de deux Nymphalidae. Aux Etats-Unis, l'abondance de *Viola nuttalli* Pursh (Violaceae), espèce-hôte utilisée par les larves de *Speyeria idalia* Drury (Lepidoptera : Nymphalidae), a été corrélée à la taille de ses populations (Kelly et Debinski, 1998). En Allemagne, les populations d'adultes de l'argus frêle, *Cupido minimus* (Lepidoptera : Lycaenidae), étaient positivement corrélées au couvert de l'unique plante hôte sur laquelle se nourrissent ses stades larvaires, *Anthyllis vulneraria* L. (Fabaceae), expliquant 65% des variations d'abondance (Krauss *et al.*, 2004). Dans la présente étude, la proportion des plantes-hôtes est différente entre les deux régions et elle a été corrélée positivement à l'abondance des populations de la TBO. Donc bien que la TBO soit polyphage, nos résultats confirment le lien entre la quantité de plantes-hôtes pour les larves et l'abondance des populations, même chez une espèce polyphage. Nos résultats sont en accord avec ceux de Sciarretta et ses collègues (2001) sur les populations du carpocapse des prunes, *Cydia funebrana* (Treitschke) (Lepidoptera : Tortricidae), polyphage comme la TBO. Cette étude avait regroupé les sites expérimentaux en fonction des espèces-hôtes. Néanmoins, la distribution des espèces de Lépidoptères ne chevauche pas parfaitement celle de leurs plantes-hôtes et ce, tant à l'échelle locale que régionale (Matsumoto *et al.*, 1993 ; Tsubaki, 1995 ; Menendez et Thomas, 2000). Ceci suggère que d'autres facteurs interviennent et influencent l'abondance des populations.

La température est la seconde variable associée à l'abondance des populations de TBO. La relation globale constatée est que plus la température (moyenne et maximale) était élevée, plus la TBO était abondante. Ceci s'appliquait non seulement aux populations de TBO de la même année que les données de température, mais également aux populations de l'année suivante. Or, la Montérégie-Est connaît des températures plus chaudes que Brome-Missisquoi. La différence de température entre les deux régions n'est pas toujours très grande, mais la température moyenne de mai 2005 de même que les températures maximales de juin 2004, mai 2005 et juin 2006 ont été supérieures d'au moins 1°C en Montérégie-Est. Cette différence régionale dans les températures de début de saison pourrait expliquer en partie l'abondance différentielle de la TBO. En effet, les mois de mai et juin correspondent au Québec à la période de croissance des larves âgées et du développement des chrysalides chez la TBO; cela soulève l'hypothèse que la survie de ces stades est meilleure lorsque des



températures chaudes en accélèrent le taux de développement. Roy et ses collègues (2001), dans leur étude sur la variation des abondances de population des Lépidoptères au Royaume-Uni entre 1976 et 1990, avaient trouvé une association similaire entre les espèces univoltines de leur étude et la température de juin. Or, juin y correspond aussi à la croissance des derniers stades larvaires et au développement des chrysalides chez ces espèces. De plus, ils suggéraient que le bénéfice de chaudes températures pouvait se répartir sur l'ensemble du cycle vital chez les espèces bivoltines (par exemple, par une ponte plus importante chez les adultes de la génération du printemps). Enfin, ils avançaient l'idée que chez les espèces caractérisées par un bivoltinisme partiel, une plus grande proportion des individus à l'intérieur d'une population se développent en adultes de 2<sup>e</sup> génération lors d'été chauds. Comme la TBO est partiellement bivoltine au Québec (Hunter et McNeil, 2000), cette hypothèse apparaît tout à fait plausible.

L'abondance des adultes de 1<sup>ère</sup> génération chez la TBO a été reliée positivement aux températures d'août et de septembre de l'année précédente, soit la période de développement des jeunes larves de 2<sup>e</sup> génération. En 1997, Matsumura avait constaté que la taille moyenne des populations de *Luehdorfia puziloi inexpecta* Sheljuzhko (Lepidoptera : Papilionidae) était fortement reliée au nombre de larves de 2<sup>e</sup> stade de l'année précédente; la température à laquelle ces larves avaient été exposées depuis leur éclosion était le principal facteur environnemental qui affectait l'abondance des adultes de l'année suivante. En 2001, Roy et ses collègues avaient trouvé une association entre des températures chaudes en septembre et l'abondance de *Pyronia tithonus* (L.), un Nymphalidae qui présente une période de croissance larvaire avant l'hibernation, tout comme la TBO. Des températures chaudes en fin de saison auraient donc un effet bénéfique sur ces stades larvaires, créant possiblement une différenciation de l'abondance de la TBO dans les régions étudiées ici. Il n'en demeure pas moins que les différences régionales de température observées dans la présente étude sont de l'ordre de 0,5 à 1°C et ne suffisent pas à elles seules à expliquer les différences régionales dans l'abondance des populations de TBO.

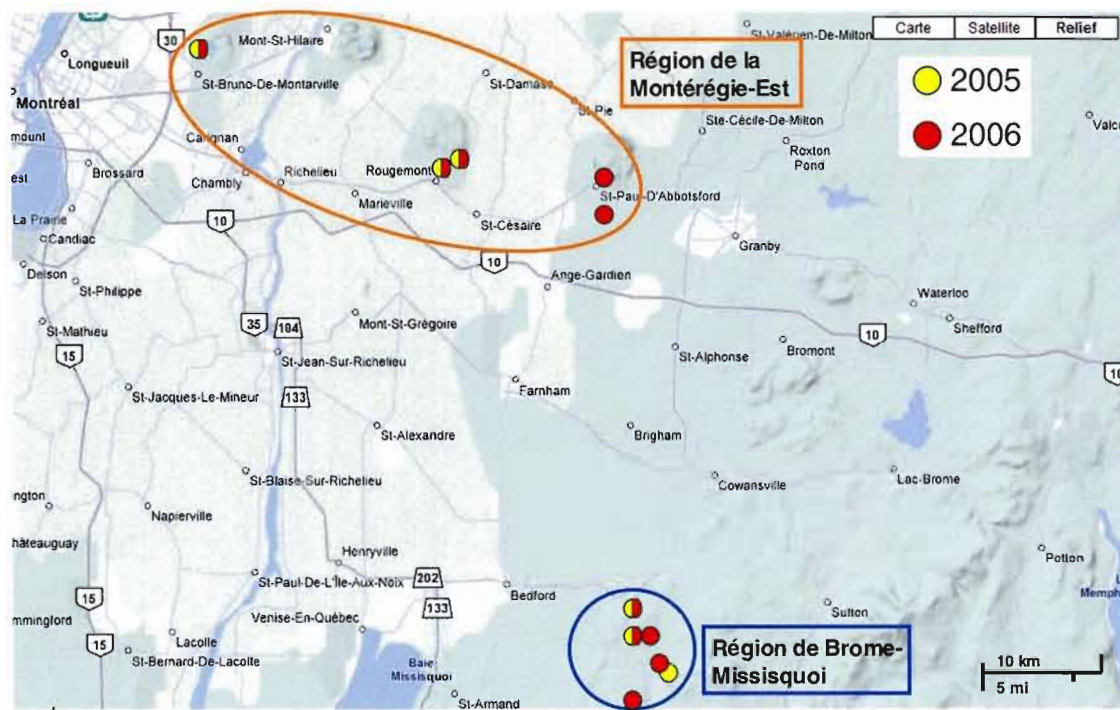
D'autres variables peuvent influencer l'abondance des populations de TBO. Par exemple, le contrôle des populations par les ennemis naturels peut être un facteur important dans le maintien de faibles populations. Ces ennemis naturels sont parfois favorisés par des éléments

locaux, comme les plantes-hôtes présentes. En Nouvelle-Zélande, le taux de parasitisme de tordeuses sur huit plantes-hôtes à proximité de vergers variait significativement entre les plantes-hôtes (Suckling *et al.*, 1998). Aussi, les populations de parasitoïdes de différentes régions géographiques peuvent exhiber des différences dans leur préférence pour un hôte en particulier (Seymour, 2001). Le contrôle des populations de TBO fait par ses ennemis naturels, prédateurs et parasitoïdes, devrait être quantifié. Il serait également important d'établir si les populations de TBO de la Montérégie-Est et de Brome-Missisquoi sont soumises à la même pression phytosanitaire (produits utilisés, doses précises...). Il n'a malheureusement pas été possible d'obtenir des données complètes et détaillées à ce sujet au cours de notre étude. Enfin, à la pression phytosanitaire s'ajoute le phénomène de résistance. Au Québec, il a été démontré que les populations de TBO de la région de Deux-Montagnes sont devenues résistantes à l'azinphosméthyl, au phosmet et à la cyperméthrine (Bellerose *et al.*, 1992). Bien que non encore démontré, les populations de TBO de la Montérégie-Est pourraient avoir également développé une résistance à certains produits phytosanitaires (Y. Morin, comm. pers.). Comme la susceptibilité des populations aux produits peut varier entre les régions (Wu *et al.*, 1999 ; Gujar *et al.*, 2000 ; Mohan et Gujar, 2002), cela peut avoir un impact différent sur les niveaux de populations.

Enfin, certaines variables du paysage mériteraient également d'être explorées. En effet, la structure du paysage joue un rôle important dans les mouvements des ravageurs et de leurs ennemis naturels (Corbett et Rosenheim, 1996 ; Schellhorn et Silberbauer, 2003 ; Tscharncke et Brandl, 2004; Schellhorn *et al.*, 2008).

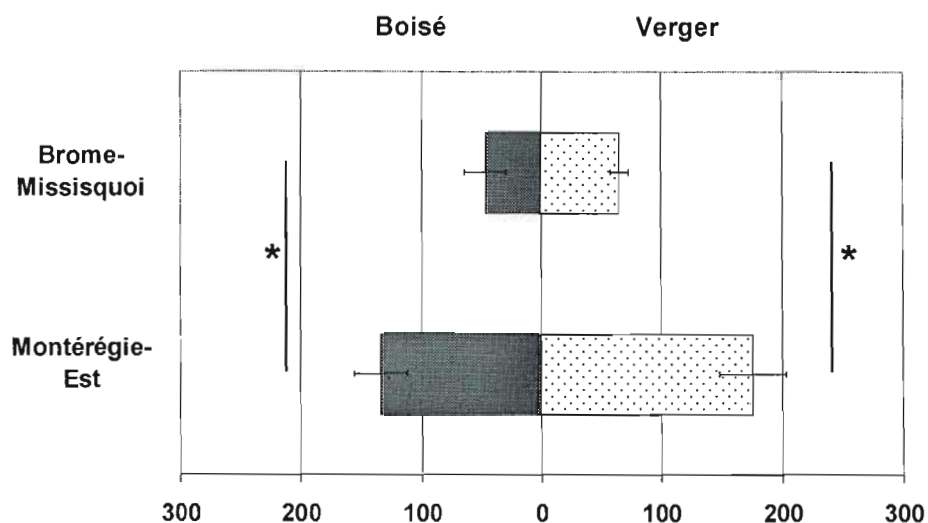
En conclusion, nos résultats montrent que la proportion des espèces hôtes (source de nourriture des stades larvaires) et la température sont positivement et fortement reliées à l'abondance des populations chez la TBO dans le sud du Québec. Par ailleurs, l'abondance des populations est un phénomène démographique fréquemment sujet à des variations annuelles à l'intérieur d'une même région. Bien que cette étude ne permette pas d'établir avec certitude les causes des différences régionales d'abondance, nos résultats confirment ceux d'autres études réalisées à plus grande échelle. Il serait intéressant de poursuivre avec des expériences incluant les données météorologiques, les données d'abondance des

populations de TBO correspondantes et un échantillonnage plus important, le tout couvrant une plus longue période de temps. Cela permettrait de réaliser des analyses multivariées et d'évaluer l'importance du rôle de chaque variable dans le développement des populations. Il serait intéressant d'inclure également des données provenant de sites sous différentes régies phytosanitaires (conventionnelle, intégrée et biologique).

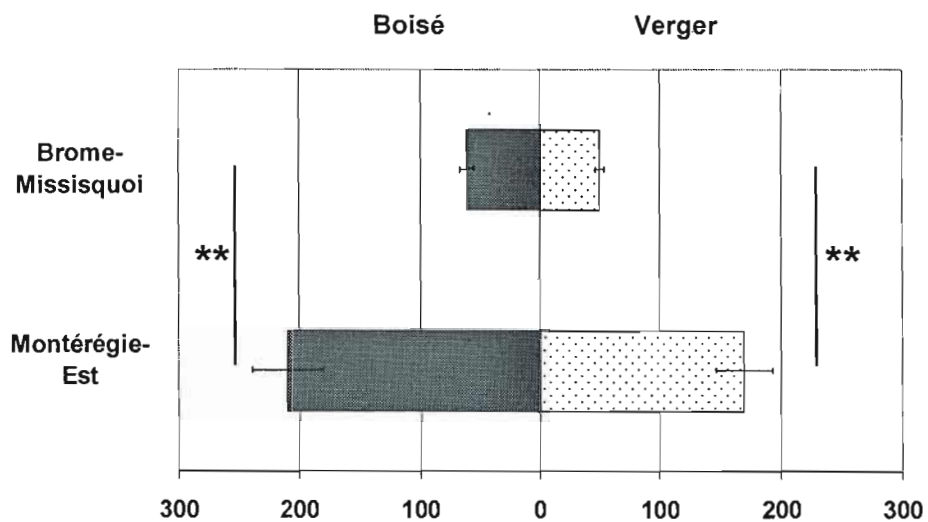


**Figure II-1.** Localisation des sites expérimentaux utilisés en 2005 et 2006 pour l'estimation des populations de la tordeuse à bandes obliques, en Montérégie-Est et dans Brome-Missisquoi (Google Maps Canada<sup>TM</sup>).

## a) Été 2005

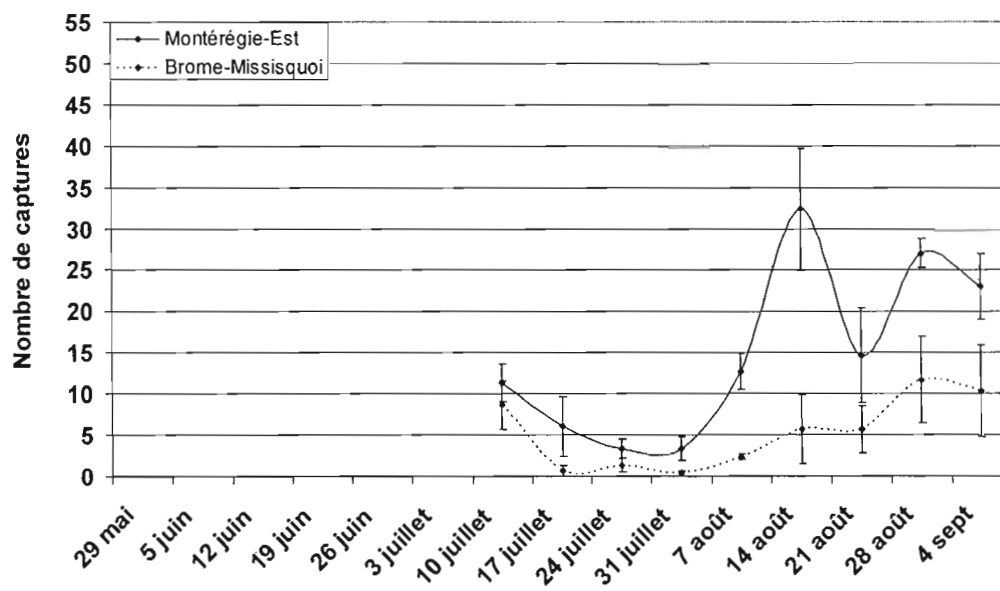


## b) Été 2006

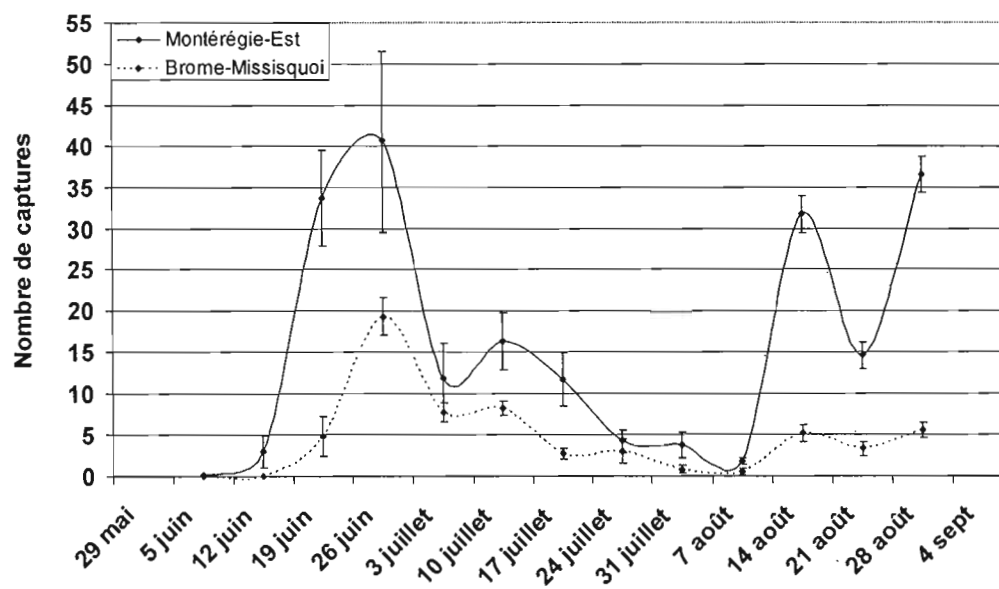


**Figure II-2.** Captures annuelles moyennes ( $\pm$  erreur-type) de tordeuse à bandes obliques enregistrées dans des vergers de pommiers et boisés adjacents en Montérégie-Est et dans Brome-Missisquoi pour les étés 2005 et 2006. Les astérisques indiquent une différence significative entre les deux régions (test de *t* de Student) : \* <0,05, \*\* <0,01.

## a) Été 2005



## b) Été 2006



**Figure II-3.** Captures hebdomadaires moyennes ( $\pm$  erreur-type) de tordeuse à bandes obliques dans des boisés adjacents à des vergers de pommiers en Montérégie-Est et dans Brome-Missisquoi, en 2005 et 2006.

**Tableau II-1.** Températures enregistrées dans les vergers pilotes du Réseau-Pommier et complétées avec celles du site des Archives climatiques nationales, pour 2004, 2005 et 2006 en Montérégie-Est et dans Brome-Missisquoi.

	Montérégie-Est (moyenne ± écart- type)	Brome-Missisquoi (moyenne ± écart- type)	<i>P</i> (test de <i>t</i> de Student)	
2004 (n=6)	Température moyenne (°C) avril à septembre	15,19 ± 0,23	14,96 ± 0,18	0,2327
	Température moyenne (°C) avril	5,83 ± 0,17	5,83 ± 0,07	1,0000
	Température moyenne (°C) mai	13,73 ± 0,14	13,67 ± 0,20	0,6971
	Température moyenne (°C) juin	16,97 ± 0,13	16,36 ± 0,28	0,0278
	Température moyenne (°C) juillet	20,22 ± 0,18	19,90 ± 0,17	0,0878
	Température moyenne (°C) août	18,69 ± 0,16	18,43 ± 0,18	0,1270
	Température moyenne (°C) septembre	15,55 ± 0,49	15,46 ± 0,11	0,7559
	Température maximale (°C) avril à septembre	21,29 ± 0,25	20,74 ± 0,17	0,0353
	Température maximale (°C) avril	11,44 ± 0,15	11,04 ± 0,02	0,0103
	Température maximale (°C) mai	19,67 ± 0,14	19,19 ± 0,12	0,0107
	Température maximale (°C) juin	23,77 ± 0,44	22,77 ± 0,33	0,0349
	Température maximale (°C) juillet	26,19 ± 0,40	25,80 ± 0,31	0,2604
	Température maximale (°C) août	24,30 ± 0,60	23,86 ± 0,20	0,2953
	Température maximale (°C) septembre	22,13 ± 0,32	21,55 ± 0,02	0,0348
	Température minimale (°C) avril à septembre	9,38 ± 0,94	9,50 ± 0,26	0,8461
	Température minimale (°C) avril	0,55 ± 0,69	0,36 ± 0,18	0,6642
	Température minimale (°C) mai	7,37 ± 0,96	7,63 ± 0,33	0,6819
	Température minimale (°C) juin	9,84 ± 1,14	9,90 ± 0,40	0,9357
	Température minimale (°C) juillet	15,00 ± 0,85	14,90 ± 0,18	0,8565
	Température minimale (°C) août	13,41 ± 0,93	13,71 ± 0,26	0,6151
	Température minimale (°C) septembre	9,90 ± 1,06	10,27 ± 0,20	0,5915
2005 (n=10)	Température moyenne (°C) avril à septembre	16,53 ± 0,28	16,13 ± 0,16	0,0231
	Température moyenne (°C) avril	7,49 ± 0,38	7,19 ± 0,13	0,1417
	Température moyenne (°C) mai	11,87 ± 0,98	10,68 ± 0,12	0,0266
	Température moyenne (°C) juin	20,95 ± 0,20	20,58 ± 0,22	0,0221
	Température moyenne (°C) juillet	21,50 ± 0,24	21,23 ± 0,19	0,0902
	Température moyenne (°C) août	20,68 ± 0,10	20,47 ± 0,17	0,0456
	Température moyenne (°C) septembre	16,55 ± 0,16	16,53 ± 0,14	0,8218
	Température maximale (°C) avril à septembre	22,60 ± 0,36	21,79 ± 0,11	0,0014
	Température maximale (°C) avril	13,02 ± 0,23	12,87 ± 0,07	0,1892
	Température maximale (°C) mai	17,53 ± 1,24	15,73 ± 0,14	0,0119
	Température maximale (°C) juin	27,07 ± 0,48	26,43 ± 0,25	0,0283
	Température maximale (°C) juillet	27,47 ± 0,31	27,01 ± 0,21	0,0263
	Température maximale (°C) août	27,17 ± 0,18	26,25 ± 0,12	< 0,0001
	Température maximale (°C) septembre	23,16 ± 0,47	22,34 ± 0,005	0,0046
	Température minimale (°C) avril à septembre	10,72 ± 0,57	10,80 ± 0,28	0,7903
	Température minimale (°C) avril	2,24 ± 0,83	1,69 ± 0,40	0,2127
	Température minimale (°C) mai	6,73 ± 1,27	5,80 ± 0,19	0,1445
	Température minimale (°C) juin	14,99 ± 0,98	15,00 ± 0,27	0,9797
	Température minimale (°C) juillet	15,25 ± 0,33	15,67 ± 0,21	0,0436
	Température minimale (°C) août	14,46 ± 0,20	15,26 ± 0,32	0,0014
	Température minimale (°C) septembre	10,53 ± 0,44	11,24 ± 0,33	0,0213

Tableau II-1. (Suite)

	Montréal-Est (moyenne ± écart- type)	Brome-Missisquoi (moyenne ± écart- type)	<i>P</i> (test de <i>t</i> de Student)
Température moyenne (°C) avril à septembre	16,03 ± 0,25	15,52 ± 0,15	0,0045
Température moyenne (°C) avril	7,69 ± 0,26	7,28 ± 0,19	0,0210
Température moyenne (°C) mai	14,24 ± 0,16	13,83 ± 0,13	0,0021
Température moyenne (°C) juin	18,70 ± 0,32	17,80 ± 0,15	0,0005
Température moyenne (°C) juillet	22,14 ± 0,29	21,64 ± 0,14	0,0081
Température moyenne (°C) août	18,49 ± 0,25	17,87 ± 0,19	0,0024
Température moyenne (°C) septembre	14,71 ± 0,23	14,45 ± 0,14	0,0629
Température maximale (°C) avril à septembre	21,61 ± 0,31	21,07 ± 0,15	0,0075
Température maximale (°C) avril	13,43 ± 0,06	12,72 ± 0,11	<0,0001
Température maximale (°C) mai	19,47 ± 0,34	18,99 ± 0,10	0,0170
Température maximale (°C) juin	24,29 ± 0,10	23,24 ± 0,19	<0,0001
Température maximale (°C) juillet	28,00 ± 0,51	27,46 ± 0,32	0,0805
Température maximale (°C) août	24,31 ± 0,58	23,93 ± 0,24	0,2198
Température maximale (°C) septembre	19,93 ± 0,40	19,80 ± 0,15	0,5069
Température minimale (°C) avril à septembre	10,75 ± 0,81	10,47 ± 0,24	0,4687
Température minimale (°C) avril	1,64 ± 0,54	1,18 ± 0,45	0,1817
Température minimale (°C) mai	9,49 ± 0,50	9,42 ± 0,22	0,7773
Température minimale (°C) juin	13,32 ± 0,93	12,86 ± 0,21	0,3166
Température minimale (°C) juillet	16,93 ± 1,00	16,52 ± 0,08	0,3959
Température minimale (°C) août	13,10 ± 1,08	12,84 ± 0,21	0,6093
Température minimale (°C) septembre	9,81 ± 0,84	9,75 ± 0,21	0,8803

2006  
(n=10)



**Tableau II-2.** Corrélations entre l'abondance de la tordeuse à bandes obliques (dans des boisés adjacents à des vergers de pommiers en Montérégie-Est et dans Brome-Missisquoi pour les étés 2005 et 2006) et les données de température (moyenne, maximale et minimale) de l'année précédente et de l'année courante (analyse de corrélation paramétrique de Pearson).

Données météorologiques		2005 (n=6)			2006 (n=10)		
		r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p
Année précédente	Température moyenne Avril à septembre	0,4321	0,18	0,3921	0,6694	0,44	0,0342
	Température moyenne Avril	-0,1592	0,02	0,7632	0,4687	0,21	0,1718
	Température moyenne Mai	0,2093	0,04	0,6906	0,6699	0,44	0,0341
	Température moyenne Juin	0,7734	0,59	0,0712	0,5494	0,30	0,0999
	Température moyenne Juillet	0,6089	0,37	0,1995	0,3341	0,11	0,3454
	Température moyenne Août	0,5838	0,34	0,2238	0,7599	0,57	0,0107
	Température moyenne Septembre	-0,0678	0,00	0,8984	0,4270	0,18	0,2185
	Température maximale Avril à septembre	0,8973	0,80	0,0153	0,5672	0,32	0,0873
	Température maximale Avril	0,6764	0,45	0,1401	-0,0050	0,00	0,9890
	Température maximale Mai	0,7486	0,56	0,0869	0,5929	0,35	0,0708
	Température maximale Juin	0,8983	0,59	0,0150	0,3546	0,12	0,3147
	Température maximale Juillet	0,7571	0,57	0,0813	0,3462	0,11	0,3272
	Température maximale Août	0,7135	0,50	0,1113	0,7426	0,55	0,0139
	Température maximale Septembre	0,8570	0,73	0,0292	0,4520	0,20	0,1897
	Température minimale Avril à septembre	-0,2790	0,07	0,5924	0,1307	0,01	0,7189
	Température minimale Avril	-0,0024	0,00	0,9963	0,5015	0,25	0,1398
	Température minimale Mai	-0,3504	0,12	0,4960	0,5622	0,31	0,0907
	Température minimale Juin	-0,2093	0,04	0,6906	0,1291	0,01	0,7223
	Température minimale Juillet	-0,1285	0,01	0,8083	-0,4440	0,19	0,1987
	Température minimale Août	-0,4061	0,16	0,4243	-0,6139	0,37	0,0590
	Température minimale Septembre	-0,4446	0,19	0,3770	-0,3577	0,12	0,3101
Année courante	Température moyenne Avril à septembre	0,6573	0,43	0,1561	0,9409	0,88	0,0000
	Température moyenne Avril	0,1659	0,02	0,7534	0,8890	0,79	0,0006
	Température moyenne Mai	0,5902	0,34	0,2175	0,9407	0,88	0,0001
	Température moyenne Juin	0,7591	0,57	0,0801	0,9565	0,91	0,0000
	Température moyenne Juillet	0,5844	0,34	0,2232	0,9327	0,86	0,0001
	Température moyenne Août	0,5691	0,32	0,2385	0,9488	0,90	0,0000
	Température moyenne Septembre	0,0685	0,00	0,8974	0,8583	0,73	0,0015
	Température maximale Avril à septembre	0,8570	0,73	0,0292	0,5686	0,32	0,0863
	Température maximale Avril	0,5730	0,32	0,2346	0,8899	0,79	0,0006
	Température maximale Mai	0,8998	0,80	0,0146	0,5423	0,29	0,1053
	Température maximale Juin	0,8436	0,71	0,0348	0,7975	0,63	0,0057
	Température maximale Juillet	0,7793	0,60	0,0677	0,3304	0,10	0,3511
	Température maximale Août	0,9058	0,82	0,0129	0,2958	0,08	0,4066
	Température maximale Septembre	0,7726	0,59	0,0717	-0,0774	0,00	0,8317
	Température minimale Avril à septembre	-0,5907	0,34	0,2170	0,5640	0,31	0,0895
	Température minimale Avril	-0,0760	0,00	0,8862	0,7181	0,51	0,0193
	Température minimale Mai	-0,1401	0,01	0,7913	0,3949	0,15	0,2587
	Température minimale Juin	-0,7095	0,50	0,1143	0,6134	0,37	0,0593
	Température minimale Juillet	-0,7424	0,55	0,0910	0,5749	0,33	0,0821
	Température minimale Août	-0,6948	0,48	0,1255	0,5119	0,26	0,1304
	Température minimale Septembre	-0,6019	0,36	0,2062	0,4113	0,16	0,2377

**Tableau II-3.** Précipitations enregistrées dans les vergers pilotes du Réseau-Pommier et complétées avec celles du site des Archives climatiques nationales, pour 2004, 2005 et 2006 en Montérégie-Est et dans Brome-Missisquoi.

		Montérégie-Est (moyenne ± écart- type)	Brome-Missisquoi (moyenne ± écart- type)	<i>p</i> (test de <i>t</i> de Student)
2004	Précipitations (mm) avril à septembre	562,06 ± 40,24	727,80 ± 67,89	0,0220
	Précipitations (mm) avril	81,13 ± 6,52	85,73 ± 4,44	0,3700
	Précipitations (mm) mai	77,60 ± 9,35	107,73 ± 12,23	0,0276
	Précipitations (mm) juin	78,03 ± 4,09	115,76 ± 16,51	0,0184
	Précipitations (mm) juillet	165,16 ± 11,20	169,66 ± 20,32	0,7538
	Précipitations (mm) août	81,06 ± 19,45	174,40 ± 12,12	0,0021
	Précipitations (mm) septembre	79,06 ± 12,00	74,50 ± 2,25	0,5527
2005	Précipitations (mm) avril à septembre	707,30 ± 20,13	650,16 ± 96,18	0,2297
	Précipitations (mm) avril	113,86 ± 9,56	132,92 ± 43,10	0,3627
	Précipitations (mm) mai	44,74 ± 1,75	42,04 ± 7,33	0,4467
	Précipitations (mm) juin	116,82 ± 4,30	120,08 ± 11,11	0,5580
	Précipitations (mm) juillet	124,24 ± 15,50	138,10 ± 13,69	0,1724
	Précipitations (mm) août	150,20 ± 11,62	106,50 ± 10,40	0,0002
	Précipitations (mm) septembre	157,44 ± 1,43	110,52 ± 10,51	<0,0001
2006	Précipitations (mm) avril à septembre	740,10 ± 67,09	888,24 ± 76,62	0,0117
	Précipitations (mm) avril	108,24 ± 19,82	95,96 ± 11,55	0,2658
	Précipitations (mm) mai	208,26 ± 17,48	237,80 ± 32,58	0,1119
	Précipitations (mm) juin	140,42 ± 29,28	255,10 ± 19,17	<0,0001
	Précipitations (mm) juillet	82,50 ± 11,91	71,94 ± 7,88	0,1370
	Précipitations (mm) août	139,42 ± 6,25	144,88 ± 1,25	0,0922
	Précipitations (mm) septembre	61,26 ± 2,51	82,56 ± 4,16	<0,0001

**Tableau II-4.** Corrélations entre l'abondance de la tordeuse à bandes obliques (dans des boisés adjacents à des vergers de pommiers en Montérégie-Est et dans Bromie-Missisquoi pour les étés 2005 et 2006) et les précipitations saisonnières et mensuelles de l'année précédente et de l'année courante (analyse de corrélation paramétrique de Pearson): a) première génération d'adultes (captures du 5 juin au 24 juillet), b) seconde génération d'adultes (captures du 31 juillet au 4 septembre).

a)

Données météorologiques		2005 (n=6)			2006 (n=10)		
		r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p
Année précédente	Précipitations Avril à septembre	-0,5145	0,264	0,2963	0,4052	0,164	0,2454
	Précipitations Avril	0,0485	0,002	0,9274	-0,0554	0,003	0,8792
	Précipitations Mai	-0,4657	0,216	0,3520	0,4005	0,160	0,2514
	Précipitations Juin	-0,6060	0,367	0,2023	-0,2595	0,067	0,4690
	Précipitations Juillet	-0,5278	0,278	0,2818	-0,6040	0,364	0,0644
	Précipitations Août	-0,5382	0,289	0,2707	0,8550	0,731	0,0016
	Précipitations Septembre	0,7294	0,531	0,0999	0,7298	0,532	0,0166
Année courante	Précipitations Avril à septembre	0,0999	0,009	0,8507	-0,5960	0,355	0,0690
	Précipitations Avril	-0,5233	0,273	0,2867	-0,1555	0,024	0,6680
	Précipitations Mai	-0,2163	0,046	0,6806	-0,5479	0,300	0,1011
	Précipitations Juin	-0,2280	0,051	0,6639	-0,6502	0,422	0,0418
	Précipitations Juillet	0,0983	0,009	0,8530	0,5233	0,273	0,1206

b)

Données météorologiques		2005 (n=6)			2006 (n=10)		
		r	r <sup>2</sup>	p	r	r <sup>2</sup>	p
Année précédente	Précipitations Avril à septembre	-0,5644	0,318	0,2433	0,4467	0,199	0,1956
	Précipitations Avril	-0,0776	0,006	0,8838	-0,2734	0,074	0,4446
	Précipitations Mai	-0,5417	0,293	0,2669	0,3091	0,095	0,3848
	Précipitations Juin	-0,5914	0,349	0,2164	-0,2361	0,055	0,5114
	Précipitations Juillet	0,0166	0,001	0,9750	-0,4797	0,230	0,1606
	Précipitations Août	-0,7193	0,517	0,1071	0,9446	0,892	<0,0001
	Précipitations Septembre	0,5053	0,255	0,3065	0,9575	0,916	<0,0001
Année courante	Précipitations Avril à septembre	0,6162	0,379	0,1927	-0,7736	0,598	0,0087
	Précipitations Avril	-0,0844	0,007	0,8736	0,2851	0,081	0,4246
	Précipitations Mai	0,3467	0,120	0,5009	-0,5651	0,319	0,0887
	Précipitations Juin	-0,0371	0,001	0,9443	-0,9314	0,867	<0,0001
	Précipitations Juillet	0,1004	0,010	0,8498	0,4908	0,240	0,1498
	Précipitations Août	0,7654	0,585	0,0761	-0,4558	0,207	0,1855

**Tableau II-5.** Caractéristiques végétales moyennes des boisés (arbres, arbustes et bordure) adjacents aux vergers de pommiers de la Montérégie-Est et de Brome-Missisquoi, aux sites expérimentaux de 2006.

	Montérégie-Est (moyenne ± écart-type)	Brome-Missisquoi (moyenne ± écart-type)	P (test de t de Student)
<b>BOISÉ : Arbres</b>			
Diversité H' de Shannon-Wiener	1,11 ± 0,43	1,52 ± 0,30	0,1185
Diversité D de Simpson	0,44 ± 0,19	0,23 ± 0,08	0,0533
Équitabilité J de Piélou	0,48 ± 0,15	0,69 ± 0,11	0,0424
Équitabilité E de Simpson	0,26 ± 0,10	0,51 ± 0,14	0,0140
Dominance d de Berger-Parker	0,65 ± 0,17	0,41 ± 0,06	0,0184
Richesse spécifique	10,60 ± 3,97	9,20 ± 2,16	0,5089
Densité (nombre de tiges/m <sup>2</sup> )	0,51 ± 0,43	0,20 ± 0,06	0,1523
Proportion de conifères (selon le nombre de tiges)	0	0,19 ± 0,15	0,0277
Proportion de conifères (selon la surface terrière)	0	0,31 ± 0,25	0,0246
Ratio feuillus/conifères (selon le nombre de tiges)	0	5,51 ± 6,02	---
Ratio feuillus/conifères (selon la surface terrière)	0	2,41 ± 2,44	---
Proportion de Rosacées (selon le nombre de tiges)	0,15 ± 0,20	0,05 ± 0,04	0,3597
Proportion de Rosacées (selon la surface terrière)	0,03 ± 0,05	0,06 ± 0,08	0,5720
Surface terrière des Rosacées (m <sup>2</sup> /ha)	0,38 ± 0,60	0,96 ± 1,29	0,3905
Proportion des espèces hôtes (selon le nombre de tiges)	0,78 ± 0,12	0,56 ± 0,16	0,0413
Proportion des espèces hôtes (selon la surface terrière)	0,79 ± 0,13	0,46 ± 0,20	0,0195
Surface terrière des espèces hôtes (m <sup>2</sup> /ha)	9,41 ± 2,41	7,80 ± 2,70	0,3774
Proportion d'érable à sucre (selon le nombre de tiges)	0,53 ± 0,19	0,36 ± 0,23	0,2573
Proportion d'érable à sucre (selon la surface terrière)	0,65 ± 0,17	0,22 ± 0,14	0,0026
Proportion d'érable à sucre (m <sup>2</sup> /ha)	7,61 ± 1,99	3,59 ± 2,05	0,0140
<b>BOISÉ : Herbacées</b>			
Diversité H' de Shannon-Wiener	1,81 ± 0,39	1,53 ± 0,31	0,2395
Équitabilité J de Piélou	0,65 ± 0,15	0,56 ± 0,11	0,3112
Dominance d de Berger-Parker	0,36 ± 0,16	0,49 ± 0,16	0,2648
Richesse spécifique	16,80 ± 4,54	15,80 ± 3,83	0,7168
Surface totale recouverte par les herbacées (exprimé en m <sup>2</sup> /400 m <sup>2</sup> )	55,81 ± 36,70	57,92 ± 47,34	0,9393
Surface totale recouverte par les herbacées (exprimé en proportion)	0,14 ± 0,09	0,14 ± 0,12	0,9544

**Tableau II-5** (Suite)

	Montréal-Est (moyenne ± écart-type)	Brome-Missisquoi (moyenne ± écart-type)	<i>P</i> (test de <i>t</i> de Student)
<b>BOISÉ : Herbacées (Suite)</b>			
Surface totale recouverte par les herbacées (STRH) représentée par les Rosacées (exprimé en proportion)	0,23 ± 0,31	0,18 ± 0,27	0,8159
Surface terrière en Rosacées (m <sup>2</sup> /400 m <sup>2</sup> )	20,50 ± 36,15	3,93 ± 3,58	0,3376
Surface totale recouverte par les herbacées (STRH) représentée par les espèces hôtes (exprimé en proportion)	0,23 ± 0,31	0,18 ± 0,27	0,8125
Surface terrière en espèces hôtes (m <sup>2</sup> /400 m <sup>2</sup> )	20,51 ± 36,14	4,90 ± 3,28	0,3643
<b>BORDURE</b>			
Diversité H' de Shannon-Wiener	1,50 ± 0,65	1,38 ± 0,59	0,7705
Équitabilité J de Piélou	0,62 ± 0,18	0,64 ± 0,16	0,8191
Dominance d de Berger-Parker	0,51 ± 0,23	0,49 ± 0,23	0,8875
Richesse spécifique	11 ± 3,93	8,40 ± 3,28	0,2898
Surface totale recouverte par la végétation (exprimé en m <sup>2</sup> /300 m <sup>2</sup> )	255,90 ± 64,91	298,20 ± 14,78	0,1932
Surface totale recouverte par la végétation (exprimé en pourcentage)	85,40 ± 21,44	99,40 ± 4,92	0,1926
Surface totale recouverte par la végétation (STRV) représentée par les Rosacées (exprimé en proportion)	0,10 ± 0,11	0,11 ± 0,12	0,9089
Surface terrière en Rosacées (m <sup>2</sup> /300 m <sup>2</sup> )	28,20 ± 35,59	36,00 ± 38,76	0,7489
Surface totale recouverte par la végétation (STRV) représentée par les espèces hôtes (exprimé en proportion)	0,68 ± 0,12	0,41 ± 0,23	0,0511
Surface terrière en espèces hôtes (m <sup>2</sup> /300 m <sup>2</sup> )	178,20 ± 65,81	124,50 ± 71,23	0,2508

**Tableau II-6.** Corrélations significatives entre l'abondance de la tordeuse à bandes obliques (dans des boisés adjacents à des vergers de pommiers en Montérégie-Est et dans Brome-Missisquoi pour les étés 2005 et 2006) et les caractéristiques végétales des boisés (arbres, arbustes et bordure) (analyses de corrélation paramétrique de Pearson).

Année	Variable	1 <sup>ère</sup> génération d'adultes			2 <sup>e</sup> génération d'adultes		
		<i>r</i>	<i>r</i> <sup>2</sup>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>r</i> <sup>2</sup>	<i>p</i>
2005 (n=5)	<b>BOISÉ : Arbres</b>						
	Proportion des espèces hôtes (selon la surface terrière)	---	---	---	0,9289	0,86	0,0225
	<b>BORDURE</b>						
	Surface totale recouverte par la végétation (STRV) représentée par les espèces hôtes (exprimé en proportion)	0,8843	0,78	0,0464	0,9905	0,98	0,0011
2006 (n=10)	Surface terrière en espèces hôtes (m <sup>2</sup> /300 m <sup>2</sup> )	---	---	---	0,9112	0,83	0,0313
	<b>BOISÉ : Arbres</b>						
	Équitabilité E de Simpson	---	---	---	-0,6770	0,45	0,0315
	Dominance d de Berger-Parker	---	---	---	0,6952	0,48	0,0256
	Proportion de conifères (selon le nombre de tiges)	---	---	---	-0,7045	0,49	0,0229
	Proportion de conifères (selon la surface terrière)	---	---	---	-0,7131	0,50	0,0206
	Proportion des espèces hôtes (selon le nombre de tiges)	---	---	---	0,6980	0,48	0,0248
	Proportion des espèces hôtes (selon la surface terrière)	---	---	---	0,7447	0,55	0,0135
	Proportion d'érable à sucre (selon la surface terrière)	0,7036	0,49	0,0232	0,8230	0,67	0,0034
	Proportion d'érable à sucre (m <sup>2</sup> /ha)	0,8296	0,68	0,0030	0,7844	0,61	0,0072
	<b>BOISÉ : Herbacées</b>						
	Diversité H' de Shannon-Wiener	0,6865	0,47	0,0284	---	---	---
	Équitabilité J de Piélou	0,7115	0,50	0,0210	---	---	---
	<b>BORDURE</b>						
	Surface totale recouverte par la végétation (STRV) représentée par les espèces hôtes (exprimé en proportion)	---	---	---	0,6457	0,41	0,0437

### **CHAPITRE III :**

#### **ARTICLE II**

## PARASITISME DE LA TORDEUSE À BANDES OBLIQUES DANS LE SUD DU QUÉBEC

Jacinthe Tremblay<sup>1</sup>, Daniel Cormier<sup>2</sup>, Jacques Brodeur<sup>3</sup> et Éric Lucas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Département des sciences biologiques, Université du Québec à Montréal  
Case postale 8888, Succursale Centre-ville, Montréal (Québec), H3C 3P8

<sup>2</sup> Institut de recherche et de développement en agroenvironnement  
3300 rue Sicotte, C.P. 480, Saint-Hyacinthe (Québec), Canada J2S 7B8

<sup>3</sup> Institut de recherche en biologie végétale, Université de Montréal  
4101 rue Sherbrooke Est, Montréal (Québec), Canada H1X 2B2

**Résumé :** Le parasitisme larvaire de la tordeuse à bandes obliques, *Choristoneura rosaceana* (Harris), a été étudié en 2005 et 2006 dans une dizaine de vergers du sud du Québec en régie intégrée et dans leur boisé adjacent, à l'aide d'une méthode de larves sentinelles. En 2005, 15 % des 456 larves sentinelles ont été parasitées alors que près de 14 % des 2 410 larves sentinelles ont été parasitées en 2006. Les niveaux de parasitisme relevés variaient considérablement selon la période et le lieu d'exposition. Dix-neuf espèces de parasitoïdes, appartenant à cinq familles, ont été relevées. La mouche tachinaire *Actia interrupta* Curran dominait largement les autres espèces : présente dans tous les sites, elle représentait 27 % des parasitoïdes en 2005 et 61 % en 2006. Les espèces *Meteorus trachynotus* Viereck (Hymenoptera : Braconidae) et *Hercus fontinalis* (Holmgren) (Hymenoptera : Ichneumonidae) étaient moyennement abondants, et suivis par la guêpe braconide *Oncophanes americanus* (Weed) et les eulophides *Colpochypeus florus* Walker et *Sympiesis* sp. Toutes les autres espèces ont été retrouvées occasionnellement (moins de 10 larves sentinelles parasitées au cours des deux années) : les ichneumons *Apophua simplicipes* (Cresson), *Exochus albifrons* Cresson et *Exochus nigripalpis* Cresson, *Acropimpla alboricta* (Cresson), *Itoplectis conquisitor* (Say), les braconides *Bracon politiventris* (Cushman) et *Apanteles* sp., l'eulophide *Elachertus argissa* (Walker) et les tachinides *Compsilura concinnata* (Meigen), *Hemisturmia parva* (Bigot) et *Nilea erecta* (Coquillett).

**Mots-clefs :** *Choristoneura rosaceana*, *Meteorus trachynotus*, *Actia interrupta*, *Hercus fontinalis*, vergers de pommiers, niveau de parasitisme, lutte biologique par conservation, boisés adjacents.



## 1. Introduction

La tordeuse à bandes obliques (TBO), *Choristoneura rosaceana* (Harris), lépidoptère de la famille des Tortricidae, peut se nourrir sur une grande variété d'espèces décidues mais elle préfère les plantes de la famille des Rosacées (pommier, poirier, prunier, etc.) (Geest et Evenhuis, 1991). Dans les vergers de pommiers du Québec, la tordeuse à bandes obliques (TBO) a maintenant le statut de ravageur secondaire c'est-à-dire qu'elle peut causer, occasionnellement ou localement, des dommages appréciables (Chouinard *et al.*, 2001). Le pourcentage moyen de pommes endommagées par cette tordeuse varie de 1 à 3 % et peut atteindre 23 % certaines années (G. Chouinard, comm. pers.), dans les vergers sous régie intégrée. Dans la région de Deux-Montagnes, les populations de TBO ont développé une résistance aux insecticides organophosphorés, pyréthrinoïdes et carbamates (Bellerose *et al.*, 1992; Carrière *et al.*, 1996).

Hormis ces interventions humaines, des ennemis naturels interagissent avec la TBO. Les prédateurs et les parasitoïdes sont des organismes dont on peut favoriser la présence et l'activité; c'est un des buts visés par la lutte biologique par conservation (Eilenberg *et al.*, 2001). Les ennemis naturels, et plus particulièrement les parasitoïdes, peuvent influencer la densité des tordeuses (Cossentine *et al.*, 2004) et contribuer à réprimer les populations de ravageurs même en étant généralistes (Marino et Landis, 2000). Les niveaux de parasitisme peuvent différer selon les espèces de tordeuses et les plantes-hôtes (Suckling *et al.*, 1998). Dans les dernières années, des études ont été menées en Colombie-Britannique ainsi que dans les états du Michigan et de New York pour identifier les parasitoïdes qui attaquent la TBO dans les cultures de framboisiers et dans les vergers de pommiers (Li *et al.*, 1999; Cossentine *et al.*, 2004; Wilkinson *et al.*, 2004; Sarvary *et al.*, 2007). Si certaines populations de TBO ont développé une résistance aux insecticides avec le temps, comme c'est souvent le cas pour les herbivores, les parasitoïdes sont nettement plus sensibles à ces produits (Morin et Chouinard, 2001b). Les populations de parasitoïdes peuvent être moins importantes dans un milieu soumis à des applications régulières d'insecticides et leur impact sur les populations de TBO pourrait donc être moindre.

Par ailleurs, les habitats en périphérie des cultures jouent un rôle important comme réservoirs d'ennemis naturels des ravageurs (Wratten *et al.*, 1998), dont les parasitoïdes. Ces milieux peuvent fournir un refuge (Coli *et al.*, 1994; Tuovinen, 1994), un site d'hibernation (Toepfer *et al.*, 1999), de la nourriture (Smith et Papacek, 1991; Bowie *et al.*, 1999) ou encore des proies/hôtes alternatifs à ces ennemis naturels (Maltais *et al.*, 1989; Corbett et Rosenheim, 1996). De nombreuses études ont documenté le rôle important de la végétation naturelle dans l'apport en nourriture, en refuges et en proies/hôtes alternatifs pour les prédateurs et parasitoïdes des ravageurs d'une culture (passés en revue par Boatman, 1994; Wratten *et al.*, 1998). Ainsi, les milieux adjacents aux vergers, comme les boisés, peuvent abriter des populations d'ennemis naturels de la TBO.

Les objectifs de cette étude sont (1) d'identifier la guildes des parasitoïdes larvaires qui s'attaquent à la TBO et (2) de quantifier l'intensité du parasitisme larvaire de la TBO dans les vergers commerciaux du sud du Québec et leur boisé adjacent.

## 2. Méthodologie

### 2.1 Sites d'échantillonnage

Au total, 11 sites de la Montérégie-Est et de Brome-Missisquoi ont été échantillonnés en 2005 et 2006 : St-Bruno-de-Montarville (un site), Rougemont (deux sites), St-Paul-d'Abbotsford (deux sites), Dunham (trois sites) et Frelighsburg (trois sites). Une parcelle expérimentale a été mise en place dans chaque site et se composait d'au moins un hectare de verger et un hectare de boisé (les deux hectares étant adjacents); la frontière séparant le boisé du verger est ci-après nommée l'« interface boisé-verger ». Les sites d'échantillonnage ont été choisis sur la base des critères suivants concernant la section en verger : présence des cultivars Cortland et/ou Lobo (dont le feuillage dense est apprécié de la TBO), pommiers standards ou semi-nains et présence antérieure de TBO (problématique ou non) dans le verger. La section du verger de tous les sites était sous régie intégrée.

Les expérimentations se sont déroulées en trois temps, correspondant aux trois périodes d'activité des larves de TBO en verger, soit : (1) les larves hibernantes (mi-mai à mi-juin, stade phénologique du pommier: bouton rose avancé à nouaison), la première génération de larves d'été (début juillet à fin juillet) et la deuxième génération de larves d'été (début août à début septembre). Nous avons utilisé une méthode de larves sentinelles pour estimer le niveau de parasitisme et échantillonner les parasitoïdes. Au printemps, période où de nombreuses espèces de tordeuses sont actives, cette méthode nous assurait que les larves échantillonnées étaient bien des TBO; en été, elle a permis d'avoir un échantillonnage minimal suffisant, les larves indigènes étant plus difficiles à localiser à cette période. Les larves sentinelles ont été exposées aux parasitoïdes

## 2.2 *Méthode des larves sentinelles*

Un élevage de laboratoire [Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), St-Hyacinthe] a fourni les larves de TBO utilisées dans la présente étude. Cet élevage avait été initié avec des larves hibernantes de TBO récoltées au printemps 2004 dans un verger biologique du Mont Saint-Hilaire, ainsi qu'au verger de l'IRDA au Mont-Saint-Bruno; de nouveaux individus (issus de larves hibernantes récoltées en 2005 dans les mêmes vergers) ont été rajoutés à l'élevage en 2005. Des masses d'œufs provenant de cet élevage (de moins de 72 heures) ont été conservées à 5°C jusqu'à leur utilisation (dans un délai maximum de sept jours). Dès leur éclosion, les jeunes chenilles ont été placées dans des cupules de 5 ml (Solo®) sur diète artificielle (Arthropodia, St-Bruno-de-Montarville) à base de fèves de Lima (Shorey et Hale, 1965). Afin de s'assurer d'offrir une possibilité de parasitisme à la fois aux parasitoïdes s'attaquant aux jeunes larves comme à ceux s'attaquant aux larves âgées, nous avons utilisé des larves de stade 2 (jeunes larves) et de stade 4 (larves âgées). Les larves destinées à être utilisées au stade 2 ont été placées en groupes de six individus par cupule et celles destinées à être utilisées au stade 4, en groupes de trois individus par cupule. Les larves ont été maintenues à 20°C, 60 % d'humidité relative et une photopériode de 16:8 (L:O) jusqu'à leur utilisation.

Sur le terrain, nous avons utilisé des dispositifs de soutien pour les larves sentinelles, lesquels étaient constitués de pousses de pommier d'un an (gourmands non taillés de l'année précédente) prélevées à même les pommiers du site échantillonné et maintenues à environ 1,5 m au-dessus du sol dans un contenant de 1 L avec de l'eau; ce dispositif est ci-après nommé une « station ». Dans chaque site, en 2005, un transect de six stations a servi de support aux larves sentinelles, soit : une station à l'interface boisé-verger (0 m), deux stations en boisé (20 m et 40 m) et trois stations en verger (20 m, 40 m et 60 m). En 2006, le design a été modifié pour deux transects de trois stations : une à 40 m en verger, une à l'interface boisé-verger et une en boisé à 40 m. Dix larves de stade 2 et dix larves de stade 4 ont été placées sur les feuilles à chaque station et laissées en place pendant une semaine. En 2005, il y a eu une semaine d'essai pour la 1<sup>ère</sup> génération d'été (semaine du 31 juillet) et deux semaines d'essai pour la 2<sup>e</sup> génération d'été (semaines des 14 et 28 août). En 2006, il y a eu un total de quatre semaines d'essai (semaines des 14, 21, 28 mai et 4 juin) pour la génération des larves hibernantes et quatre semaines également (semaines des 2, 9, 16 et 23 juillet) pour la 1<sup>ère</sup> génération d'été. De retour au laboratoire, les larves sentinelles ont été mises individuellement dans des cupules de 5 ml (Solo<sup>®</sup>) sur diète artificielle à base de fève de Lima (Shorey et Hale, 1965) et élevées à 20°C, 60 % d'humidité relative et une photopériode de 16 :8 (L:O) jusqu'à la mort de l'individu, sa transformation en adulte ou l'émergence d'un parasitoïde adulte.

### 2.3 *Échantillonnage des larves hibernantes indigènes en 2006*

Dans tous les vergers, deux personnes ont cherché visuellement des larves de TBO (à la fois dans les parties inférieure/supérieure et intérieure/extérieure de la canopée), sur des pommiers situés en bordure du boisé et sur d'autres pommiers à environ 15 m de la bordure, jusqu'à ce qu'au moins 30 individus soient récoltés pour un site ou après 30 minutes de recherche. Nous avons complété l'échantillonnage en 2 jours seulement, soit les 16 et 17 mai 2006. Les larves récoltées ont été rapportées en glacière au laboratoire, mises individuellement dans des cupules de 5 ml (Solo<sup>®</sup>) sur diète artificielle à base de fève de Lima (Shorey et Hale, 1965) et élevées dans les mêmes conditions que les larves sentinelles

jusqu'à la mort de l'individu, sa transformation en adulte ou l'émergence d'un parasitoïde adulte.

Tous les parasitoïdes issus des larves indigènes et sentinelles ont été conservés dans l'alcool et identifiés par la suite avec des clefs d'identification (Burks, 2003; Goulet et Huber, 1993; Grissell et Schauff, 1990; O'Hara, 2005). Ces identifications ont été validées par des experts du Service d'identification de la Collection nationale canadienne d'insectes, arachnides et nématodes (CNC) d'Agriculture Canada, à Ottawa, ainsi que du Musée d'histoire naturelle du comté de Los Angeles.

#### 2.4 *Analyses statistiques*

La proportion des larves parasitées s'obtient en divisant le nombre de larves parasitées par le nombre total de larves récupérées propices aux analyses. Comme le nombre total de larves récupérées propices aux analyses n'était pas le même pour tous les sites ou stations, la transformation angulaire améliorée (TAA) de Johnson et Kotz (1969) a été appliquée afin de pondérer les niveaux de parasitisme (Sokal et Rohlf, 1995). Son calcul est le suivant :

$$\theta = \arcsin \sqrt{(y + \frac{3}{8}) / (n + \frac{7}{4})}$$

où y = nombre de larves parasitées

n = nombre total de larves récupérées propices aux analyses

Le niveau de parasitisme en verger, en bordure et en boisé (lieux d'exposition) a été établi pour chaque site, à chaque génération de larves (période d'exposition). Les proportions de larves parasitées ont été comparées entre les lieux d'exposition pour chaque période avec des tests de Khi-carré. D'autre part, la répartition des cas de parasitisme ne nous a pas permis d'appliquer de test statistique pour comparer la répartition des espèces de parasitoïdes entre les lieux d'exposition ou les périodes d'exposition. Nous avons néanmoins réalisé des analyses de corrélation pour vérifier si les niveaux de parasitisme entre le boisé et le verger étaient reliés. Toutes les analyses ont été réalisées avec le logiciel JMP 5.1.2 (SAS Institute 2004).

### 3. Résultats

Selon la génération de larves et l'année, nous avons récupéré entre 28 et 46 % des larves sentinelles mises en place dans les parcelles (tabl. III-1). De ces larves récupérées, 7 à 15 % ont dû être exclues des analyses (mortalités larvaires non expliquées possiblement dues aux manipulations, moisissures, bactéries, virus...). Les données concernant les jeunes larves (stades 1 à 3) et les larves âgées (stade 4 à 6) ont été considérées ensemble et non pas séparément, en raison du faible nombre de larves propices aux analyses.

Globalement pour les années de l'étude, sur les 2 866 larves ayant servi aux analyses, 409 étaient parasitées (14 %). Dix-neuf espèces de parasitoïdes, appartenant à 5 familles, ont été récupérées à partir des larves sentinelles durant les deux années de l'étude (tabl. III-2). La mouche tachinaire *Actia interrupta* Curran dominait largement les autres espèces : elle représentait 27 % (20/72) des parasitoïdes retrouvés en 2005 et 61 % (208/337) en 2006. *Meteorus trachynotus* Viereck (Hymenoptera : Braconidae) et *Hercus fontinalis* (Holmgren) (Hymenoptera : Ichneumonidae) étaient moyennement abondants, et suivis par la guêpe braconide *Oncophanes americanus* (Weed) et les eulophides *Colpoclypeus florus* Walker et *Sympiesis* sp. Toutes les autres espèces ont été retrouvées occasionnellement (moins de dix larves sentinelles parasitées au cours des deux années). Deux espèces constituent de nouvelles mentions sur la TBO au Québec : trois larves sentinelles étaient parasitées par *Megaselia longipennis* (Malloch), une mouche grégaire de la famille des Phoridae et deux larves sentinelles étaient parasitées par un ichneumon du genre *Tranosemella* (un mâle et une femelle). Ces deux espèces de parasitoïdes font l'objet de notes particulières à la fin de cet article.

En 2005, 15 % des 456 larves sentinelles étaient parasitées alors que près de 14 % des 2 410 larves sentinelles étaient parasitées en 2006 (tabl. III-1). Une partie importante de ces niveaux de parasitisme est attribuable à *A. interrupta*, qui était directement responsable de 4% du parasitisme en 2005 et de 8 % du parasitisme en 2006.

Les niveaux de parasitisme variaient selon la période et le lieu d'exposition (fig. III-1). En 2005, lors de la première génération de larves d'été, aucune différence significative n'a

été notée quant au niveau de parasitisme dans le verger, la bordure ou le boisé; le niveau du parasitisme variait entre 0 et 20% selon les sites. Par contre, lors de la deuxième génération de larves d'été, le niveau de parasitisme global en verger (27%) était supérieur à celui relevé en boisé (11 %) ou en bordure (7 %) ( $\text{Khi}^2=16,53$ ,  $\text{dl}=2$ ,  $p<0,001$ ) et variait entre les sites de 0 à 54%.

En 2006, le niveau de parasitisme des larves sentinelles exposées au moment de la présence des larves hibernantes variait entre 0 et 13 % selon les sites, sans montrer de différence significative entre le verger, la bordure ou le boisé. Toutefois, lors de la première génération de larves d'été, le niveau de parasitisme en bordure (28 %) était supérieur à celui relevé en boisé ou en verger (17 % dans les deux cas) ( $\text{Khi}^2=24,49$ ,  $\text{dl}=2$ ,  $p<0,001$ ). Le niveau de parasitisme variait alors selon les sites entre 0 et 50 %. Bien que basés sur un effectif considérablement faible, ces résultats sont en accord avec notre quatrième hypothèse.

Aucune corrélation significative n'a été décelée entre le niveau de parasitisme en verger et en boisé (première génération de larves d'été en 2005:  $r=-0,0270$ ,  $n=5$ ,  $p=0,9656$ ; deuxième génération de larves d'été en 2005:  $r=-0,2822$ ,  $n=12$ ,  $p=0,3742$ ; larves hibernantes en 2006:  $r=-0,1853$ ,  $n=39$ ,  $p=0,2587$ ; première génération de larves d'été en 2006:  $r=0,1737$ ,  $n=39$ ,  $p=0,2903$ ).

#### 4. Discussion

##### Guilde des parasitoïdes

Le nombre d'espèces de parasitoïdes associés à la TBO relevé dans la présente étude est de 19. De ces espèces, 12 seulement ont été retrouvées sur des larves sentinelles exposées en verger, 10 ont été retrouvées dans le boisé adjacent au verger et 11 dans la bordure. Quatre espèces ont été retrouvées dans ces trois lieux, soit *H. fontinalis*, *M. trachynotus*, *Elachertus argissa* (Walker) et *A. interrupta*. Le nombre d'espèces de parasitoïdes retrouvées ici en verger est similaire à ce qui est rapporté en champ de framboisiers dans la vallée du Fraser en Colombie-Britannique, où Li et ses collègues (1999) ont relevé 14 espèces de parasitoïdes sur la TBO (larves et nymphes). En 2004, on a rapporté au Michigan (également en vergers

commerciaux) 20 espèces de parasitoïdes sur la TBO (Wilkinson *et al.*, 2004). Le nombre d'espèces de parasitoïdes associés à la TBO relevé dans la présente étude est légèrement supérieur à celui relevé dans l'état de New York (9 espèces), dans des vergers de différentes régions (Sarvary *et al.*, 2007). Toutefois, Cossentine et ses collègues ont relevé jusqu'à 30 espèces de parasitoïdes sur les tordeuses *C. rosaceana* et/ou *Pandemis limitata* (Robinson) dans les vergers biologiques de la Colombie-Britannique (Cossentine *et al.*, 2004). Les espèces dominantes diffèrent selon l'endroit. Dans les champs de framboisiers en Colombie-Britannique, le braconide *Macrocentrus nigridorsis* Viereck était l'espèce la plus abondante (Li *et al.*, 1999), alors qu'en vergers de pommiers ce sont les eulophides *Sympiesis* spp. et *C. florus*, suivis de *Macrocentrus linearis* (Nees), *Glypta* spp. et *M. trachynotus* (Cossentine *et al.*, 2004). Au Michigan, le braconide *Bassus dimidiator* Nees était dominant à 48 %, suivi de *A. interrupta* (13%) (Wilkinson *et al.*, 2004). Dans l'état de Washington, *C. florus* est le parasitoïde dominant dans la plupart des vergers, affichant un niveau de parasitisme supérieur à 60 % (Pfannenstiel et Unruh, 2003). Finalement, *A. interrupta* était l'espèce dominante dans l'état de New York (Sarvary *et al.*, 2007).

En plus des dix-neuf espèces listées au tableau III-2, d'autres essais réalisés en 2005, en exposant les larves sentinelles pendant 2 jours seulement, ont confirmé la présence de l'ichneumon *Ischnus inquisitorius* (Müller) et du braconide polyembryonique *M. linearis*. Par ailleurs, des recherches menées par l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) mentionnent aussi la présence des espèces suivantes (F. Vannosthuyse, comm. pers.) : les ichneumons *Diadegma* sp. et *Glypta* sp. de même que les braconides *Aleiodes* sp., *Apanteles polychrosidis* Viereck, *Dolichogenidea* sp. et *Hormius* sp. En somme, au moins 26 espèces de parasitoïdes s'attaquent à la TBO dans le sud du Québec.

Parmi les espèces de parasitoïdes relevées dans notre étude, la seule espèce présente dans les 11 sites utilisés est *A. interrupta*. Les espèces *H. fontinalis* (9/11), *M. trachynotus* (9/11) et *O. americanus* (7/11) étaient également bien répandues. Les autres espèces ont été relevées dans moins de la moitié des sites.

Pour la plupart des espèces, il est difficile de tirer des conclusions à savoir si elles sont davantage présentes dans tel ou tel lieu (boisé, bordure ou verger), étant donné le faible



nombre d'individus relevés. Nous remarquons toutefois qu'un seul cas de parasitisme par un Eulophidae a été relevé en boisé; ceux-ci semblent davantage présents en bordure ou en verger. Nos résultats concernant *M. trachynotus* montrent qu'il est peu présent en verger.

Par ailleurs, la guildes des parasitoïdes varie avec la génération de larves de TBO. Ainsi, cinq espèces de parasitoïdes sont présentes au moment où les larves de TBO sortent de diapause et entament leurs derniers stades de croissance (mai-juin) : *H. fontinalis*, *Apanteles* sp., *M. trachynotus*, *E. argissa* et *A. interrupta*. Tous les individus retrouvés l'ont été après le 20 mai. Les 13 spécimens d'*A. interrupta*, espèce la plus abondante lors de la période de présence des larves hibernantes, ont été retrouvés dans la semaine du 4 juin (tabl. III-2). La récolte de larves hibernantes indigènes au printemps 2006 a confirmé qu'*Apanteles* sp. et *M. linearis* utilisent la TBO pour la période hivernale, mais il est impossible de savoir à quel moment ces larves ont été parasitées. Les larves hibernantes indigènes ont pu être attaquées par une femelle parasitoïde soit l'été précédent et débiter leur diapause en juillet ou en septembre, soit être attaquées à leur sortie de diapause. Cependant, à la fois *Apanteles* (Cossentine *et al.*, 2005) et *M. linearis* (Krugner *et al.*, 2005) attaquent les jeunes stades larvaires, il est probable que les larves en question aient été attaquées l'été précédent. Puisque la méthode des larves sentinelles permet d'identifier les espèces de parasitoïdes naturellement présents et en activité de parasitisme à cette période de l'année, elle nous permet d'affirmer que des individus d'*Apanteles* sp. et de *M. linearis* sont en recherche d'hôte sur le terrain tôt en saison (juin).

C'est à la 1<sup>ère</sup> génération de larves d'été que la guildes des parasitoïdes est la plus riche (tabl. III-2), comprenant 15 espèces. Les ichneumons y sont particulièrement bien représentés et *H. fontinalis* entre en activité de parasitisme. Également, c'est la période où *M. trachynotus* est le plus abondant (surtout présent dans le boisé et la bordure). Maltais et ses collègues (1989) avaient mis en évidence que *M. trachynotus* passait l'hiver dans les larves de la TBO. Les adultes de *M. trachynotus* issus de ces larves sont donc présents en fin mai et en juin, et les femelles sont en recherche d'hôtes. Si de jeunes larves de TBO de la 1<sup>ère</sup> génération d'été sont écloses, elles sont susceptibles d'être attaquées par les femelles *M. trachynotus*. Cela pourrait expliquer qu'on ait retrouvé ce parasitoïde en grand nombre à cette période.

La dernière génération de larves voit davantage de Braconidae et d'Eulophidae en activité de parasitisme, les ichneumons étant moins présents en fin de saison. *A. interrupta*, bien que moins présente que lors de la première génération, est toujours en activité de parasitisme (tabl. III-2).

Il est possible que la composition du boisé influence la guildes des parasitoïdes qui s'attaquent à la TBO. On a déjà mentionné que chez les Pimplinae et les Metopiinae (Hymenoptera : Ichneumonidae) s'attaquant aux lépidoptères forestiers, le type de plante hôte semble déterminer en partie les espèces de parasitoïdes qui vont s'attaquer à l'insecte qui s'en nourrit (Bradley, 1974). Un échantillonnage plus important et effectué sur une plus longue période de temps permettrait de vérifier cette hypothèse dans le cas de la TBO, mais il serait imprudent de conclure quoi que ce soit avec les résultats que nous avons.

Un point mis en évidence par cette étude est l'abondance d'*A. interrupta* dans le sud du Québec. La présence d'*A. interrupta* a été rapportée au Michigan (18 individus sur 2174 parasitoïdes) (Wilkinson *et al.*, 2004) et dans l'état de New York (Westbrook, 2003; Sarvary *et al.*, 2007). Il n'y a pas de mention de cette espèce dans l'ouest du Canada ou des États-Unis. *A. interrupta* est active tôt en saison et le demeure jusqu'au début septembre. Présente dans tous les sites, elle était responsable de la plus grande proportion de larves parasitées (27% en 2005 et 61 % en 2006). Sur les 232 tachinides retrouvés au cours des deux années de l'expérimentation, 228 (98 %) ont été identifiés comme *A. interrupta* (tabl. III-2). C'est comparable à ce qu'on retrouve dans l'état de New York, où cette espèce représentait 94 % des tachinides retrouvés sur la TBO (Westbrook, 2003). *A. interrupta* représentait 13 % des parasitoïdes au Michigan (Wilkinson *et al.*, 2004). Le pourcentage de larves parasitées par cette espèce variait entre 5 et 15 % dans l'état de New York (Sarvary *et al.*, 2007). *A. interrupta* s'attaque à la tordeuse à bandes obliques dès le 3<sup>e</sup> stade larvaire et en émerge du 3<sup>e</sup> au 6<sup>e</sup> stade larvaire (comm. pers. de N. Bostanian et de C. Westbrook, citée par O'Hara 2005). Il est probable que plusieurs générations se succèdent pendant l'été au Québec, le développement larvaire s'étendant sur 15 jours à 24 °C (Thireau et Régnière, 1993). Le stade d'hibernation d'*A. interrupta* n'est pas encore connu de façon certaine (J. Régnière, comm. pers.).

Dans notre expérience menée en parallèle de cette étude (en exposant des larves sentinelles de TBO pendant 2 jours seulement), *A. interrupta* représentait 80 % des parasitoïdes (118 individus /146 larves parasitées). Une telle abondance suggère un avantage compétitif chez cette espèce. *A. interrupta* est une espèce ovovivipare, c'est-à-dire que les œufs fécondés sont conservés et incubés à l'intérieur du système reproducteur de la femelle. Celle-ci dépose un œuf contenant une larve (asticot) de premier stade pleinement développé à proximité d'un hôte; l'asticot émerge peu après et se met activement à la recherche d'un hôte (O'Hara, 2005). Si l'hôte en question est déjà parasité mais que le premier parasitoïde n'est encore qu'au stade d'œuf, l'asticot peut débiter immédiatement sa consommation et avoir de ce fait l'avantage de la taille face à l'autre parasitoïde. Cusson et ses collègues (2002) ont mis en évidence un avantage compétitif chez *A. interrupta* lors de ses interactions avec l'ichneumon *Tranosema rostrale* (Brishke) pour le parasitisme de la tordeuse des bourgeons de l'épinette, *Choristoneura fumiferana* (Clemens) (Lepidoptera : Tortricidae); le succès de parasitisme par *A. interrupta* pourrait être favorisé par une attaque antérieure de l'hôte par *T. rostrale*, possiblement par une réduction de l'encapsulation (Cusson *et al.*, 2002).

Notons enfin que dans notre étude, quatre larves sentinelles de TBO ont été parasitées à la fois par *A. interrupta* et par une autre espèce de parasitoïde (trois cas de multiparasitisme en association avec *H. fontinalis* et un cas en association avec *O. americanus*). Les essais réalisés en 2005, en exposant les larves sentinelles pendant 2 jours seulement, ont aussi montré un cas de multiparasitisme d'*A. interrupta* avec un autre tachinide, *N. erecta*. Il se peut qu'il y ait eu d'autres cas de multiparasitisme avec *A. interrupta* parmi les larves sentinelles mais que le deuxième parasitoïde n'ait pu se développer complètement dû à l'avantage compétitif d'*A. interrupta*.

À la lumière de toutes ces informations, il nous apparaît clair que *A. interrupta* mérite un plus grand intérêt et doit faire l'objet d'autres études, dans un contexte de lutte biologique par conservation contre la tordeuse à bandes obliques.

## Niveau de parasitisme

Le niveau de parasitisme de la TBO variait entre 0 et 54 % selon les sites et la période d'exposition. Le niveau de parasitisme maximum atteint ici est supérieur à ce qui est rapporté dans d'autres études, mais il s'agit de chiffres issus de larves sentinelles exposées en verger, en bordure et dans le boisé adjacent, contrairement aux études citées ci-après. En Colombie-Britannique, le niveau de parasitisme de la TBO variait entre 5 à 15 % dans les cultures de framboisiers (Li *et al.*, 1999). Au Michigan, il était d'environ 10 % pour les larves hibernantes et de 27 % pour la génération d'été (Wilkinson *et al.*, 2004), alors qu'il variait entre 12 et 17 % dans l'état de New York (Sarvary *et al.*, 2007). Une étude récente effectuée au Québec (St-Hilaire et Frelighsburg) rapporte un niveau de parasitisme variant entre 24 et 47 % (Sackett *et al.*, 2007). À l'opposé, d'autres études font mention de niveaux de parasitisme encore plus grands. Mahr et Whitaker (2004) ont rapporté 80 % de parasitisme chez la TBO au Wisconsin, alors que Brunner (1996) rapportait que le parasitisme des tordeuses (en général) en vergers de pommiers dépassait parfois 95 % lors de la génération d'été dans l'état de Washington. Les niveaux moyens de parasitisme relevés dans la présente étude doivent toutefois être nuancés. Chaque site étant une répétition, les effectifs variaient entre 10 et 20, ce qui est plutôt faible. Il y a une grande variabilité dans les niveaux de parasitisme d'un site à l'autre pour une même date. De plus, l'utilisation de larves sentinelles étant à l'origine de ces résultats, ces niveaux de parasitisme témoignent ici davantage de l'abondance et de l'activité des parasitoïdes que du niveau de contrôle effectivement atteint (parasitisme réel) pour une génération donnée.

L'utilisation des insecticides est parfois pointée du doigt comme facteur limitant le contrôle de la TBO par ses ennemis naturels, ceux-ci étant plus sensibles que les ravageurs. Il est possible que l'absence de corrélation entre les niveaux de parasitisme en verger et en boisé remarquée dans la présente étude soit due en partie à l'application d'insecticides en verger. Sarvary indiquait d'ailleurs que dans les vergers sans insecticides, la mortalité infligée à la TBO par les ennemis naturels est aussi forte que celle retrouvée dans les habitats naturels (Sarvary, non publié dans Sarvary *et al.*, 2007). Toutefois, il n'a pas pu mettre en évidence que l'utilisation d'insecticides à risque réduit (dans des sections de verger

entremêlées avec d'autres sections sous régie conventionnelle) fournissait des opportunités pour le contrôle biologique de la TBO. En effet, le niveau de parasitisme ne différait pas entre les parcelles traitées avec des insecticides conventionnels, les parcelles utilisant des insecticides à risque réduit et les milieux naturels (Sarvary *et al.*, 2007). Sarvary suggère que la mobilité des parasitoïdes, couplée à la toxicité des produits utilisés, auraient pu masquer les différences spécifiques aux traitements.

En dépit de cela, le rôle des parasitoïdes ne doit pas être sous-estimé. Dans une étude en vergers de pommiers au Wisconsin, on a aménagé des parcelles en plantant divers végétaux pour créer des habitats pour les ennemis naturels; le niveau de parasitisme de la TBO n'était pas significativement différent entre les parcelles aménagées et les contrôles, mais il a atteint 80 % dans les deux types de parcelles (Mahr et Whitaker, 2004). Le parasitisme chez la TBO peut donc atteindre de très hauts niveaux. Il reste à identifier les conditions qui favorisent le parasitisme.

En conclusion, la TBO est associée dans le sud du Québec avec un grand nombre de parasitoïdes. Les niveaux de parasitisme atteints (en situation de régie intégrée) sont appréciables, particulièrement lors des générations estivales. La mouche tachinaire *A. interrupta* a joué un rôle de première importance dans le parasitisme de la TBO et ce, pendant toute la saison estivale. Nous sommes d'avis que des études portants sur cette espèce et comparant diverses régies (conventionnelle, biologique, intégrée) doivent être envisagées dans le sud du Québec.

## Remerciements

Cette étude a été supportée par le Fonds québécois de la recherche sur la nature et les technologies – Actions concertées. Les auteurs remercient les pomiculteurs pour l'accès aux vergers, Francine Pelletier pour l'assistance technique ainsi que Andrew M.R. Bennett, Henri Goulet, John H. Huber et James E. O'Hara du Service d'identification de la Collection nationale canadienne d'insectes, arachnides et nématodes (CNC) d'Agriculture Canada, à Ottawa, ainsi que Brian V. Brown du Musée d'histoire naturelle du comté de Los Angeles, pour la confirmation de l'identification des spécimens.

### Note taxonomique

#### *Tranosemella* "near" *praerogator*

Il n'y a actuellement aucune clef d'identification pour les espèces du genre *Tranosemella*. Ces spécimens correspondaient à ceux de la Collection nationale canadienne d'insectes, arachnides et nématodes (CNC), que Stuart Walley a récoltés à Ottawa, au Québec et en Nouvelle-Écosse, comme étant « proche de *Limneria pterophorae* (Ashmead) », un synonyme junior de *T. praerogator* (A. Bennett, pers. comm.).

Par contre, en comparaison avec les spécimens de l'Ouest du Canada, les spécimens récoltés dans l'est (dont ceux récoltés ici) ont une couleur jaunâtre sur le scape (complètement noir chez les spécimens de l'Ouest), la carène longitudinale médiane du propodéum beaucoup plus forte postérieurement (faible chez les spécimens de l'Ouest) et la région aréolaire du propodéum est complètement granulée (moins granulée chez les spécimens de l'Ouest ou transversalement striée postérieurement). À cause de ces différences, de l'inexistence de clefs pour les espèces néarctiques et d'un historique taxonomique compliqué, le genre nécessite une révision, incluant la vérification de spécimens européens (A. Bennett, comm. pers.). Les deux spécimens récoltés ont été déposés à la Collection nationale canadienne d'insectes, arachnides et nématodes à Ottawa.

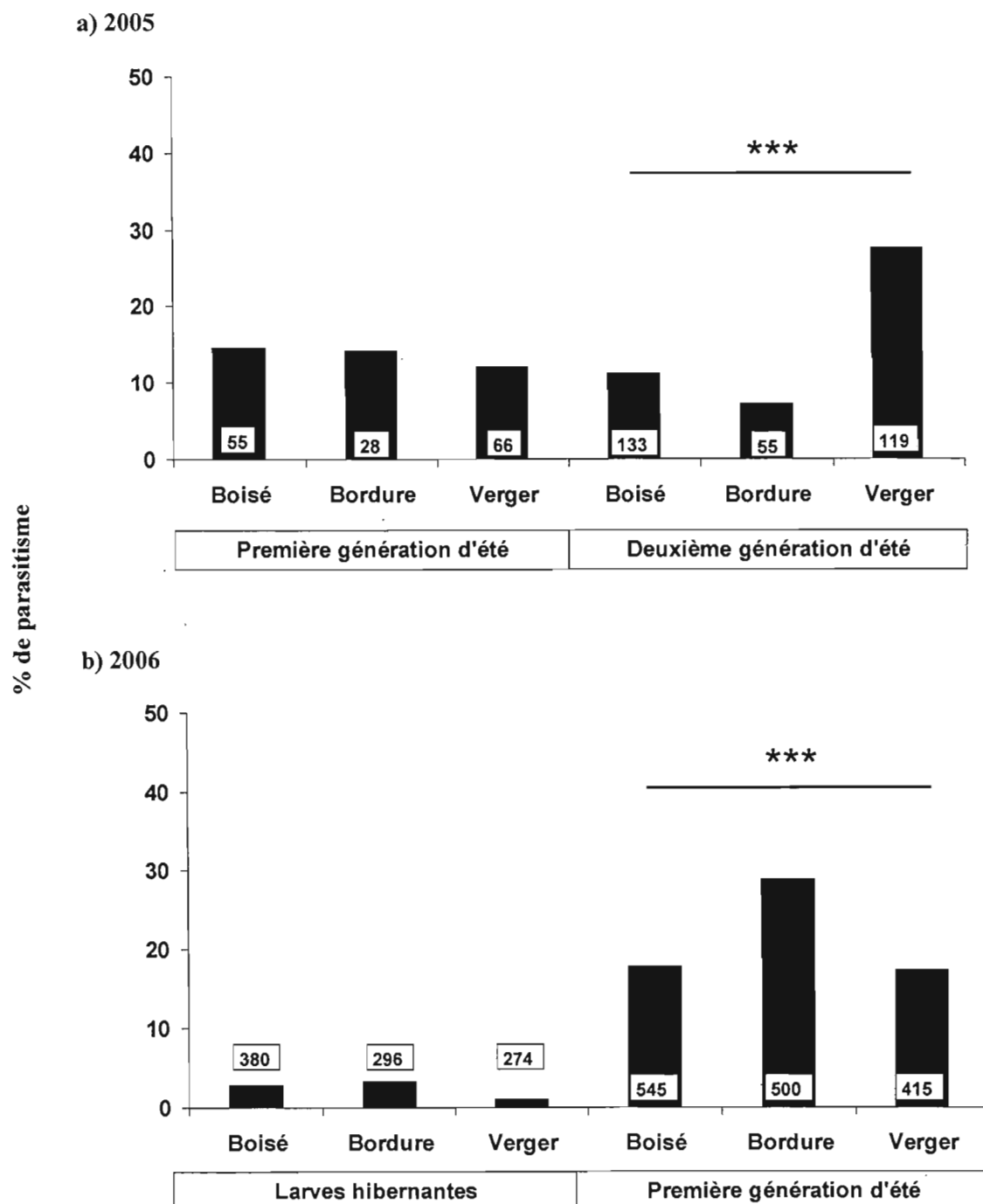
### Note faunistique

#### *Megaselia longipennis*

Les Phoridae retrouvés ont été identifiés comme *Megaselia longipennis* (Malloch). C'est la première mention de cette espèce sur *C. rosaceana* au Québec. Notons cependant que moins de la moitié des espèces nord-américaines de *Megaselia* ont été décrites (B. Brown, comm. pers.). Nous avons donc déposé certains de nos spécimens au Musée d'histoire naturelle du comté de Los Angeles ainsi qu'à la Collection nationale canadienne d'insectes,

arachnides et nématodes à Ottawa, de sorte qu'il sera possible pour d'autres chercheurs d'en vérifier l'identification lorsque le genre *Megaselia* nord-américain sera révisé.

Des mentions de parasitisme par des individus du genre *Megaselia* sur des Lépidoptères ont déjà été rapportées en Inde (Disney *et al.* 1992), en Italie (Campadelli, 1996; Disney et Campadelli, 1996) et en Tanzanie (Niyibigira *et al.*, 2001). En fait, les mentions de Phoridae élevées à partir de larves et de chrysalides de Lépidoptères sont nombreuses (voir Disney, 1994). Cependant, la plupart d'entre elles font référence aux espèces de Phoridae bien connues pour être d'abord saprophages. Plusieurs auteurs ont noté que le Lépidoptère était déjà mort (Enderlein, 1929; Eyles, 1965; Robinson, 1971; Disney et Evans, 1990); d'autres assument que le Lépidoptère « hôte » était vivant au moment de l'oviposition. Le seul cas prouvé de parasitisme d'une larve de Lépidoptère bien portante par un Phoridae est celui d'une larve de *Megaselia chlumetiae* Disney sp.n. s'attaquant à une larve de *Chlumetia brevisigna* sp. n. (Lepidoptera : Noctuidae) (Disney *et al.*, 1992). En somme, bien que dans plusieurs cas, les larves de Lépidoptère sont blessées, malades ou endommagées avant l'attaque par les Phoridae, Disney conclut que le parasitisme facultatif de larves ou de chrysalides malades de Lépidoptères par des Phoridae saprophages a été démontré (Disney, 1994). Quoi qu'il en soit, cette question nécessite d'autres études (B. Brown, comm. pers.).



**Figure III-1.** Pourcentage de larves sentinelles parasitées en 2005 et 2006 selon la période d'exposition (correspondant à la génération de larves) et le lieu d'exposition. Les encadrés indiquent le nombre total de larves sentinelles utilisées pour l'évaluation du parasitisme. (Khi-carré de Pearson : \*\*\* = <0,001)



**Tableau III-1.** Sort des larves sentinelles exposées aux parasitoïdes pendant une semaine dans les sites expérimentaux, en 2005 et 2006.

	2005		2006		Total
	1 <sup>ère</sup> génération d'été	2 <sup>e</sup> génération d'été	Larves hibernantes	1 <sup>ère</sup> génération d'été	
Larves mises en place	600	1 440	4 800	4 800	11 640
- non retrouvées	409	1 024	3 335	2 583	7 351
- récupérées	191	416	1 465	2 217	4 289
- exclues des analyses	42	109	515	757	1 423
- propices aux analyses	149	307	950	1 460	2 866
- non parasitées	129	255	926	1 147	2 457
- parasitées	20	52	24	313	409
Niveau de parasitisme	13,4 %	16,9 %	2,5 %	21,4 %	14,3 %

**Tableau III-2.** Nombre de larves sentinelles de tordeuse à bandes obliques attaquées par les parasitoïdes en 2005 et 2006, selon la période (génération de larves de TBO) et le lieu d'exposition. Les cas issus de larves jeunes et âgées sont additionnés.

Espèce	2005						2006						Total
	1 <sup>ère</sup> génération d'été			2 <sup>e</sup> génération d'été			Larves hibernantes			1 <sup>ère</sup> génération d'été			
	Boisé	Bordure	Verger	Boisé	Bordure	Verger	Boisé	Bordure	Verger	Boisé	Bordure	Verger	
HYMÉNOPTÈRES													
Ichneumonidae													
<i>Acropimpla alboricta</i> (Cresson)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Apophua simplicipes</i> (Cresson)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	4
<i>Exochus albifrons</i> Cresson	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Exochus nigripalpis</i> Cresson	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Hercus fontinalis</i> (Holmgren)	2	1	3	5	0	1	1	0	0	6 <sup>d</sup>	9 <sup>dd</sup>	4	32
<i>Itoplectis conquisitor</i> (Say)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Tranosemella "near"</i> <i>praerogator</i> (Linnaeus)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
Braconidae													
<i>Apanteles</i> sp.	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2
<i>Bracon politiventris</i> (Cushman)	0	0	1	1	0	2 <sup>a</sup>	0	0	0	0	0	1	5
<i>Meteorus trachynotus</i> Viereck	2	1	0	0	0	0	0	1	2	44	17	2	69
<i>Oncophanes americanus</i> (Weed)	0	0	0	0	1	17 <sup>a</sup>	0	0	0	0	2 <sup>e</sup>	2	22
Eulophidae													
<i>Colpoclypeus florus</i> Walker	0	0	0	0	1	6 <sup>b</sup>	0	0	0	0	4	4 <sup>bb</sup>	15
<i>Elachertus argissa</i> (Walker)	0	0	1	0	0	0	0	5	0	1	0	0	7
<i>Sympiesis</i> sp.	0	0	0	0	0	5 <sup>b, c</sup>	0	0	0	0	2	6 <sup>bb</sup>	13

Tableau III-2 (Suite)

Espèce	2005						2006						Total
	1 <sup>ère</sup> génération d'été			2 <sup>e</sup> génération d'été			Larves hibernantes			1 <sup>ère</sup> génération d'été			
	Boisé	Bordure	Verger	Boisé	Bordure	Verger	Boisé	Bordure	Verger	Boisé	Bordure	Verger	
DIPTÈRES													
Tachinidae													
<i>Actia interrupta</i> Curran	4	2	2	7	1	4	9	4	0	42 <sup>*d</sup>	104 <sup>*dd, e</sup>	49	228
<i>Compsilura concinnata</i> (Meigen)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Hemisturmia parva</i> (Bigot)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
<i>Nilea erecta</i> (Coquillett)	0	0	0	0	0	1 <sup>*c</sup>	0	0	0	0	0	0	1
Phoridae													
<i>Megaselia longipennis</i> (Malloch)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	3

\* Cas de multiparasitisme (une larve sentinelle parasitée par plus d'une espèce de parasitoïde). Le nombre de lettres qui apparaît indique le nombre de cas de cette association.

\*a = *B. politiventris* et *O. americanus*

\*b = *C. florus* et *Sympiesis* sp.

\*c = *N. erecta* et *Sympiesis* sp.

\*d = *A. interrupta* et *H. fontinalis*

\*e = *A. interrupta* et *O. americanus*

## CONCLUSION

La tordeuse à bandes obliques (TBO) était auparavant considérée comme un ravageur occasionnel en verger de pommiers. Elle a maintenant le statut de ravageur secondaire, pouvant causer des dommages occasionnels ou localisés (Chouinard *et al.*, 2001). Dans les vergers sous régie intégrée, le contrôle des populations de TBO se fait par la combinaison de l'utilisation d'insecticides, l'éclaircissage des fruits et la taille d'été des gourmands. Le traitement du calice suffit en général à en contrôler les populations et ainsi à en limiter les dégâts, mais la TBO demeure un insecte dont il faut se préoccuper, notamment en raison du développement d'une résistance aux insecticides dont certaines populations font preuve.

L'objectif de la première partie de l'étude était d'évaluer le rôle de certains facteurs abiotiques (température, humidité, précipitations) et biotiques (plantes hôtes) sur l'abondance des populations de la TBO. Les résultats ont montré que la TBO était plus abondante dans les vergers de la Montérégie-Est que dans ceux de Brome-Missisquoi, validant notre première hypothèse; il en était de même dans les boisés. Bien que les vergers soient soumis à l'application d'insecticides, l'abondance de la TBO à l'intérieur des vergers était fortement et positivement corrélée à son abondance dans le boisé adjacent, ce qui soutient l'idée que le boisé est une source de TBO pour le verger.

La proportion de plantes-hôtes et la température ont ici été positivement reliés à l'abondance de la TBO, conformément à nos attentes (troisième hypothèse). Les boisés de la Montérégie-Est possèdent deux fois plus d'espèces végétales hôtes de la TBO que ceux de Brome-Missisquoi (en accord avec notre deuxième hypothèse), dont trois fois plus d'érable à sucre. Par contre, la proportion des plantes de la famille des Rosacées n'était pas reliée à l'abondance de la TBO, ce qui suggère que c'est plutôt l'abondance de l'ensemble des espèces hôtes qui importe et non pas l'abondance de la famille « de préférence ».

D'autre part, la Montérégie-Est était caractérisée par des températures plus élevées (en accord avec notre deuxième hypothèse), particulièrement en début de saison. L'abondance des adultes de TBO de la première génération a été reliée positivement aux températures

moyenne et maximale de la fin de saison précédente, ainsi qu'aux températures moyenne et maximale des mois d'avril, mai et juin de l'année en cours. L'abondance des adultes de la deuxième génération a été reliée positivement aux températures maximales de la saison précédente ainsi qu'à la température maximale et des mois de mai et juin de la saison en cours.

Bref, parmi les données météorologiques, la température est fort probablement le facteur principal qui différencie la Montérégie-Est de Brome-Missisquoi, et c'est le facteur le plus facile à relier à l'abondance de la TBO puisque la croissance des insectes en général est reliée à la quantité de chaleur accumulée (degré-jours). En outre, c'est le facteur pour lequel on retrouve les  $r^2$  les plus élevées, donc le facteur avec la plus grande proportion de la variation qui soit expliquée par la relation entre les deux variables. Nous ne pouvons affirmer que les disparités régionales observées dans l'abondance de la TBO soient directement et uniquement dues à la température. Toutefois, comme les données de température sont pratiquement toujours supérieures en Montérégie-Est (pour les 3 années) et que l'association avec l'abondance de la TBO est toujours positive, la température nous apparaît être un facteur important qui favorise les populations de la TBO. Évidemment, cette étude se base sur les données d'une période de temps plutôt restreinte (3 ans), mais les résultats abondent dans le même sens que ceux des études utilisant les données démographiques et climatiques de périodes plus longues (sur les Lépidoptères en général) (Roy et al. 2001, Pollard 1988).

La Montérégie-Est possède donc deux caractéristiques qui favorisent les populations de la TBO, soit des températures plus élevées en début et en fin de saison (propices aux développement des stades larvaires âgés en début de saison et à celui des jeunes larves avant la diapause hivernale) et une grande abondance d'espèces hôtes en boisé pouvant contribuer au maintien des populations à l'extérieur des vergers.

Les objectifs de la deuxième partie de l'étude étaient d'identifier la guildes des parasitoïdes qui s'attaquent à la TBO et de quantifier l'intensité du parasitisme de la TBO dans les vergers commerciaux du sud du Québec et leur boisé adjacent. Les résultats ont montré que le niveau de parasitisme atteint était élevé dans certains cas (jusqu'à 54%). Il semble également augmenter au cours de la saison, étant peu élevé lors de la génération des

larves hibernantes et atteint son maximum lors de la deuxième génération d'été. Toutefois, les niveaux de parasitisme illustrent davantage l'abondance et l'activité des parasitoïdes que le niveau de contrôle effectivement atteint (parasitisme réel) pour une génération donnée; ceci s'applique particulièrement à la génération des larves hibernantes puisque les larves sentinelles parasitées ont forcément été attaquées par les parasitoïdes présents en début de saison. D'autre part, le fait que le parasitisme soit plus élevé en fin de saison reflète possiblement la réduction des applications d'insecticides et/ou l'utilisation d'insecticides plus spécifiques. En effet, la TBO est souvent bien maîtrisée par le traitement dit « du calice » fait à la fin mai et ne nécessite pas toujours d'autre intervention avec un insecticide par la suite. Advenant que cela soit nécessaire, on utilise le Btk, un bioinsecticide spécifique aux Lépidoptères, peu toxique pour les parasitoïdes (Morin et Chouinard, 2001a); ces derniers peuvent alors avoir un effet plus important sur les populations de TBO.

Nous avons également constaté que la guildes des parasitoïdes larvaires s'attaquant à la TBO est très riche dans le sud du Québec, comprenant pas moins de 19 espèces, dont 12 dans les vergers (régie intégrée). Le tachinide *A. interrupta* se distingue des autres espèces par sa présence dans tous les sites étudiés et son abondance. Nous avons constaté que cette espèce est active tôt en saison et que son activité se poursuit jusqu'en septembre. Cette situation pourrait être expliquée par un possible avantage compétitif d'*A. interrupta* sur les autres parasitoïdes, dans les cas où une larve de TBO est parasitée par plus d'une espèce de parasitoïde (Cusson *et al.*, 2002). Toutefois, ces résultats devraient être confirmés par une étude de plus longue durée. Enfin, le niveau de parasitisme semblait varier en fonction du lieu d'exposition, en accord avec notre quatrième hypothèse, mais cette question devrait faire l'objet d'autres études.

Dans certaines cultures, on a développé des outils de gestion des ravageurs qui se basent non pas sur les seuils d'abondance des ravageurs, mais sur les seuils d'abondance des ennemis naturels de ces ravageurs (ou qui du moins en tiennent compte dans l'établissement du seuil d'intervention) (Conway *et al.*, 2006). Compte tenu de la prépondérance d'*A. interrupta* dans le sud du Québec et des niveaux de parasitisme relevés ici, cette alternative pourrait être explorée.

Au regard des résultats des deux parties de l'étude, la lutte biologique par conservation des ennemis naturels pourrait être une avenue intéressante contre la TBO. Plusieurs éléments favorisent son utilisation : développement de résistance aux insecticides dans certaines régions, faible taux de dégâts sur les pommes, grande diversité de la guildes de parasitoïdes de la TBO et niveaux de parasitisme élevés. Également, comme les boisés adjacents aux vergers présentent une grande abondance d'espèces végétales hôtes de la TBO, ces boisés pourraient également abriter, outre la TBO, des hôtes alternatifs pour les parasitoïdes et favoriser ainsi leur maintien dans la proximité du verger. Le parasitoïde *A. interrupta* mérite certainement de faire l'objet d'autres études, dans un contexte de lutte biologique par conservation contre la tordeuse à bandes obliques.

## APPENDICE A

LATITUDE, LONGITUDE, ALTITUDE (À L'INTERFACE BOISÉ-VERGER) ET PENTE  
(DU VERGER VERS LE BOISÉ) DES SITES EXPÉRIMENTAUX UTILISÉS EN 2005 ET  
2006 POUR L'ESTIMATION DES POPULATIONS DE LA TORDEUSE À BANDES  
OBLIQUES EN MONTÉRÉGIE-EST ET DANS BROME-MISSISQUOI

Site	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Pente (°) *
SB (St-Bruno-de-Montarville)	45°32'33''N	73°20'36''O	52	nd
BH (Rougemont)	45°27'24'' N	73°02'41'' O	149	2,83
GAD (Rougemont)	45°27'03'' N	73°03'05'' O	98	2,00
HAM (St-Paul-d'Abbotsford)	45°23'37'' N	72°51'15'' O	89	0,00
MEN (St-Paul-d'Abbotsford)	45°26'38'' N	72°52'48'' O	169	5,50
TOU (Dunham)	45°06'10'' N	72°51'03'' O	190	3,17
ROYD (Dunham)	45°05'57'' N	72°51'07'' O	191	- 1,67
ROYF (Dunham)	45°06'07'' N	72°50'48'' O	198	- 0,67
BR (Frelighsburg)	45°02'52'' N	72°48'37'' O	160	0,92
DUC (Frelighsburg)	45°02'05'' N	72°50'59'' O	212	- 2,83
MF (Frelighsburg)	45°02'37'' N	72°47'51'' O	242	nd

\* nd : non disponible. Une donnée négative indique que la section du verger descendait en direction du boisé.



## APPENDICE B

LATITUDE, LONGITUDE, ALTITUDE ET PENTE MOYENNES RÉGIONALES  
DES SITES EXPÉRIMENTAUX DE 2006

	Montréal-Est (moyenne $\pm$ écart-type)	Brome-Missisquoi (moyenne $\pm$ écart-type)	<i>p</i> (test de <i>t</i> de Student)
Pente moyenne (°) *	2,58 $\pm$ 2,27	-0,21 $\pm$ 2,34	0,1144
Latitude	45,27 $\pm$ 0,03	45,04 $\pm$ 0,02	<0,0001
Longitude	72,85 $\pm$ 0,31	72,50 $\pm$ 0,01	0,0375
Altitude (m)	111,40 $\pm$ 47,27	190,20 $\pm$ 19,03	0,0086

Les données correspondant aux sites expérimentaux de 2005 sont similaires.

\* Une donnée négative indique que la section du verger descendait en direction du boisé.

## **APPENDICE C**

### **COMPOSITION VÉGÉTALE DES BOISÉS ADJACENTS AUX VERGERS DANS LES SITES ÉCHANTILLONNÉS**

Nom commun *	Nom scientifique	Famille	Boisés adjacents aux vergers de pommiers									
			Montérégie-Est					Brome-Missisquoi				
			SB	BH	GAD	HAM	MEN	TOU	ROYD	ROYF	BR	DUC
<i>Arbres et grands arbustes</i>												
<u>Amélanchier</u> <sup>2</sup>	<i>Amelanchier</i> sp.	Rosaceae				X				X		
<u>Aubépine</u> <sup>2</sup>	<i>Crataegus</i> sp.	Rosaceae		X	X				X			
<u>Aulne rugueux</u> <sup>5</sup>	<i>Alnus rugosa</i>	Betulaceae								X		
<u>Bouleau à papier</u> <sup>3, 5</sup>	<i>Betula papyrifera</i>	Betulaceae		X								
<u>Bouleau jaune</u> <sup>5</sup>	<i>Betula alleghaniensis</i>	Betulaceae								X	X	X
Bouleau nain	<i>Betula pumila</i>	Betulaceae						X	X	X	X	X
Caryer cordiforme	<i>Carya cordiformis</i>	Juglandaceae	X	X	X			X	X	X	X	X
Célastré grimpant	<i>Celastrus scandens</i>	Celastraceae							X	X	X	
<u>Cerisier de Pennsylvanie</u> <sup>2, 5</sup>	<i>Prunus pennsylvanica</i>	Rosaceae		X								
<u>Cerisier de Virginie</u> <sup>2, 3, 5</sup>	<i>Prunus virginiana</i>	Rosaceae	X	X	X	X	X					
<u>Cerisier tardif</u> <sup>2</sup>	<i>Prunus serotina</i>	Rosaceae				X		X		X	X	X
Chêne blanc	<i>Quercus alba</i>	Fagaceae	X									
<u>Chêne rouge</u> <sup>5</sup>	<i>Quercus rubra</i>	Fagaceae		X	X					X		
Cornouiller	<i>Cornus</i> sp.	Cornaceae	X			X	X					
Cornouiller à feuilles alternes	<i>Cornus alternifolia</i>	Cornaceae					X	X				
Cornouiller stolonifère	<i>Cornus stolonifera</i>	Cornaceae		X	X		X	X				
<u>Épinette blanche</u> <sup>5</sup>	<i>Picea glauca</i>	Pinaceae							X			
<u>Érable à sucre</u> <sup>5</sup>	<i>Acer saccharum</i>	Aceraceae	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<u>Érable rouge</u> <sup>3, 5</sup>	<i>Acer rubrum</i>	Aceraceae			X	X					X	X
Frêne d'Amérique	<i>Fraxinus americana</i>	Oleaceae	X					X			X	
Frêne de Pennsylvanie	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	Oleaceae			X					X		
Hêtre à grandes feuilles	<i>Fagus grandifolia</i>	Fagaceae	X	X	X	X		X		X	X	X
Némopanthé mucroné	<i>Nemopanthus mucronatus</i>	Aquifoliaceae				X						
<u>Noisetier à long bec</u> <sup>5</sup>	<i>Corylus cornuta</i>	Betulaceae		X								
Noyer cendré	<i>Juglans cinerea</i>	Juglandaceae	X	X	X			X			X	
Orme rouge	<i>Ulmus rubra</i>	Ulmaceae		X				X				X
Ostryer de Virginie	<i>Ostrya virginiana</i>	Betulaceae	X	X	X			X	X	X	X	X
<u>Peuplier à grandes dents</u> <sup>4</sup>	<i>Populus grandidentata</i>	Salicaceae		X	X							
<u>Peuplier faux-tremble</u> <sup>1, 5, 6, 7</sup>	<i>Populus tremuloides</i>	Salicaceae		X	X				X	X	X	X
Pin gris	<i>Pinus banksiana</i>	Pinaceae						X				

(Suite)

Nom commun	Nom scientifique	Famille	Boisés adjacents aux vergers de pommiers									
			Montérégie-Est					Brome-Missisquoi				
			SB	BH	GAD	HAM	MEN	TOU	ROYD	ROYF	BR	DUC
Pin rouge	<i>Pinus resinosa</i>	Pinaceae						X	X			
Pruche du Canada	<i>Tsuga canadensis</i>	Pinaceae									X	X
Ronce occidentale <sup>2</sup>	<i>Rubus occidentalis</i>	Rosaceae				X						
Saule <sup>5,7</sup>	<i>Salix</i> sp.	Salicaceae	X							X	X	X
Sorbier d'Amérique <sup>2</sup>	<i>Sorbus americana</i>	Rosaceae						X				
Sumac vinaigrier	<i>Rhus typhina</i>	Anacardiaceae		X	X	X	X		X			
Thuya occidentale	<i>Thuja occidentalis</i>	Cupressaceae							X			
Tilleul d'Amérique <sup>5</sup>	<i>Tilia americana</i>	Tiliaceae	X	X	X		X	X		X		
<i>Herbacées et petits arbustes</i>												
Actée à gros pédicelles	<i>Actaea pachypoda</i>	Renonculaceae					X					
Achillée millefeuille	<i>Achillea Millefolium</i>	Compositae										X
Adiantum pédalé	<i>Adiantum pedatum</i>	Polypodiaceae					X					
Aralie à tige nue	<i>Aralia nudicaulis</i>	Araliaceae									X	
Ariséma rouge-foncé	<i>Arisaema atrorubens</i>	Araceae	X	X	X		X			X	X	X
Asaret du Canada	<i>Asarum canadense</i>	Aristolochiaceae	X									
Aster à grandes feuilles	<i>Aster macrophyllus</i>	Compositae	X									
Carex	<i>Carex</i> sp.	Cyperaceae	X	X		X	X	X	X	X	X	X
Caulophylle faux-pigamon	<i>Caulophyllum thalictroides</i>	Berberidaceae				X	X	X		X		
Chélidoine	<i>Chelidonium majus</i>	Papaveraceae					X	X				
Dicentre à capuchon	<i>Dicentra Cucullaria</i>	Fumariaceae								X		
Dryopteride marginale	<i>Dryopteris marginalis</i>	Polypodiaceae				X						
Dryopteride spinuleuse	<i>Dryopteris spinulosa</i>	Polypodiaceae						X				
Épervière orangée	<i>Hieracium aurantiacum</i>	Compositae				X						X
Fougères (Pterophyta)				X		X	X	X	X	X	X	X
Fraisier <sup>2</sup>	<i>Fragaria</i> sp.	Rosaceae			X		X	X		X		X
Gadellier lacustre	<i>Ribes lacustre</i>	Saxifragaceae			X	X	X	X	X	X	X	
Gadellier malodorant	<i>Ribes glandulosum</i>	Saxifragaceae	X	X	X							
Gaulthérie hispide	<i>Chiogenes hispidula</i>	Ericaceae									X	X
Graminées		Gramineae	X		X						X	X
Grande bardane	<i>Arctium lappa</i>	Compositae	X									
Groseiller des chiens	<i>Ribes cynosbati</i>	Saxifragaceae			X							

(Suite)

Nom commun	Nom scientifique	Famille	Boisés adjacents aux vergers de pommiers									
			Montérégie-Est					Brome-Missisquoi				
			SB	BH	GAD	HAM	MEN	TOU	ROYD	ROYF	BR	DUC
If du Canada	<i>Taxus canadensis</i>	Taxaceae	X									
Impatiente du Cap	<i>Impatiens capensis</i>	Balsaminaceae									X	
Liseron des champs	<i>Convolvulus arvensis</i>	Convolvulaceae					X	X				
Lycopode	<i>Lycopodium sp.</i>	Lycopodiaceae							X			X
Maianthemum du Canada	<i>Maianthemum canadense</i>	Liliaceae		X		X		X			X	X
Menthe	<i>Mentha sp.</i>	Labiaceae				X						
Mousses (Bryophyta)											X	X
Onoclee sensible	<i>Onoclea sensibilis</i>	Polypodiaceae		X		X		X			X	X
Osmonde cannelle	<i>Osmunda cinnamomea</i>	Osmondaceae										X
Osmonde royale	<i>Osmunda regalis</i>	Osmondaceae		X								
Oxalide	<i>Oxalis sp.</i>	Oxalidaceae			X	X			X			
Parthénocisse à 5 folioles	<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	Vitaceae	X	X				X		X		
Pigamon dioïque	<i>Thalictrum dioicum</i>	Renonculaceae					X					
Pissenlit officinal	<i>Taraxacum officinale</i>	Compositae		X			X			X		
Polystichum faux-acrostic	<i>Polystichum acrostichoides</i>	Polypodiaceae		X			X					
Potentille simple <sup>2</sup>	<i>Potentilla simplex</i>	Rosaceae									X	X
Prêle	<i>Equisetum sp.</i>	Equisetaceae								X		X
Prenanthe	<i>Prenanthes sp.</i>	Compositae	X		X		X					X
Ptéridium des aigles	<i>Pteridium aquilinum</i>	Polypodiaceae		X								
Ronce <sup>2</sup>	<i>Rubus sp.</i>	Rosaceae	X			X					X	X
Ronce du Mont-Ida <sup>2</sup>	<i>Rubus idaeus</i>	Rosaceae		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ronce odorante <sup>2</sup>	<i>Rubus odoratus</i>	Rosaceae	X	X	X		X					
Sanguinaire du Canada	<i>Sanguinaria canadensis</i>	Papaveraceae	X		X		X			X		
Sceau-de-Salomon pubescent	<i>Polygonatum pubescens</i>	Liliaceae		X								
Smilacine à grappes	<i>Smilacina racemosa</i>	Liliaceae	X	X	X	X	X	X		X		
Streptope amplexicaule	<i>Streptopus amplexifolius</i>	Liliaceae	X		X							
Sureau pubescent	<i>Sambucus pubens</i>	Caprifoliaceae				X	X	X				
Sureau du Canada	<i>Sambucus canadensis</i>	Caprifoliaceae		X	X							
Trille dressé	<i>Trillium erectum</i>	Liliaceae	X	X	X	X	X			X	X	X
Vérâtre vert	<i>Veratrum viride</i>	Melanthiaceae									X	
Verge d'or	<i>Solidago sp.</i>	Compositae					X					X
Vigne des rivages	<i>Vitis riparia</i>	Vitaceae	X	X	X	X		X				
Violette	<i>Viola sp.</i>	Violaceae	X				X		X			X

(Suite)

---

\* Les espèces soulignées sont des espèces mentionnées comme hôtes de la tordeuse à bandes obliques; les chiffres indiquent la source de cette mention. Le site MF situé à Frelighsburg n'a pas pu être caractérisé, mais il se composait essentiellement d'une plantation de pin (*Pinus* sp.) et comptait très peu de plantes herbacées.

**Sources:**

- <sup>1</sup> Carrière Y. 1992. Host plant exploitation within a population of a generalist herbivore, *Choristoneura rosaceana*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 65(1): 1-10.
- <sup>2</sup> Chapman P.J. et S.E. Lienk. 1971. Tortricid fauna of apple in New York (Lepidoptera : Tortricidae) : including an account of apples' occurrence in the state, especially as a naturalized plant. New York State Agricultural Experiment Station, Geneva, Special Publication, 122 p.
- <sup>3</sup> Hunter M.D. et J.N. McNeil. 1997. Host-plant quality influences diapause and voltinism in a polyphagous insect herbivore. *Ecology* 78(4) : 977-986.
- <sup>4</sup> Powell J.A. 1964. Biological and taxonomic studies on tortricine moths, with reference to the species in California. University of California Publications in Entomology, University of California Press, Berkeley/Los Angeles, 32: 311 p.
- <sup>5</sup> Prentice R.M. (Compiler), 1965. Forest Lepidoptera of Canada recorded by the Forest Insect Survey. Vol. 4. Microlepidoptera. Canada Department of Forestry Publication 1142, pp.545-834.
- <sup>6</sup> Relevé des insectes et des maladies des arbres (Canada). 1996. Insectes et maladies des arbres au Canada 1994. Service canadien des forêts, Ottawa, 121 p.
- <sup>7</sup> Vakenti J.M., Cossentine J.E., Cooper B.E., Sharkey M.J., Yoshimoto C.M. et L.B.M. Jensen. 2001. Host-plant range and parasitoids of obliquebanded and three-lined leafrollers (Lepidoptera: Tortricidae). *The Canadian Entomologist* 133(1): 139-146.

## APPENDICE D

CARACTÉRISTIQUES VÉGÉTALES (ARBRES, ARBUSTES ET BORDURE)  
DES BOISÉS ADJACENTS AUX VERGERS DANS LES SITES ÉCHANTILLONNÉS

Variables	Boisés adjacents aux vergers de pommiers									
	Montérégie-Est					Brome-Missisquoi				
	SB	BH	GAD	HAM	MEN	TOU	ROYD	ROYF	BR	DUC
<b>BOISÉ : Arbres</b>										
Diversité H' de Shannon-Wiener	1,14	1,79	1,09	0,62	0,91	1,82	1,22	1,70	1,70	1,18
Diversité D de Simpson	0,40	0,18	0,40	0,70	0,53	0,16	0,31	0,17	0,17	0,33
Équitabilité J de Pielou	0,64	0,63	0,47	0,26	0,39	0,71	0,58	0,77	0,81	0,56
Équitabilité E de Simpson	0,41	0,31	0,24	0,14	0,18	0,48	0,39	0,62	0,69	0,37
Dominance d de Berger-Parker	0,63	0,39	0,63	0,85	0,75	0,33	0,51	0,41	0,38	0,42
Espèce dominante (en nombre de tiges) *	Asac	Pgra	Asac	Rocc	Asac	Asac	Asac	Asac	Asac	Arub
Espèce dominante (en surface terrière) *	Asac	Asac	Asac	Asac	Asac	Pban	Pres	Asac	Ovir	Arub
Richesse spécifique	6	17	10	10	10	13	8	9	8	8
Densité (nombre de tiges/m <sup>2</sup> )	0,02	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
Proportion de conifères (selon le nombre de tiges)	---	---	---	---	---	0,25	0,39	---	0,06	0,25
Proportion de conifères (selon la surface terrière)	---	---	---	---	---	0,36	0,66	---	0,14	0,42
Ratio feuillus/conifères (selon le nombre de tiges)	---	---	---	---	---	3,00	1,59	---	14,50	2,95
Ratio feuillus/conifères (selon la surface terrière)	---	---	---	---	---	1,77	0,51	---	5,99	1,38
Proportion de Rosacées (selon le nombre de tiges)	0	0,09	0,06	0,52	0,07	0,10	0,02	0,11	0	0,03
Proportion de Rosacées (selon la surface terrière)	0	0,01	0,004	0,13	0,02	0,13	0,001	0,18	0	0,002
Surface terrière des Rosacées (m <sup>2</sup> /ha)	0	0,18	0,05	1,46	0,22	2,22	0,02	2,54	0	0,04
Proportion des espèces hôtes (selon le nombre de tiges)	0,75	0,80	0,65	0,98	0,72	0,37	0,61	0,80	0,52	0,49
Proportion des espèces hôtes (selon la surface terrière)	0,68	0,86	0,64	0,98	0,77	0,39	0,42	0,81	0,24	0,44
Surface terrière des espèces hôtes (m <sup>2</sup> /ha)	10,91	11,74	7,14	10,80	6,47	6,80	7,36	11,45	4,36	9,51
Proportion d'érable à sucre (selon le nombre de tiges)	0,73	0,24	0,58	0,47	0,65	0,25	0,50	0,60	0,48	0,01
Proportion d'érable à sucre (selon la surface terrière)	0,63	0,39	0,64	0,85	0,75	0,24	0,27	0,41	0,16	0,02
Proportion d'érable à sucre (m <sup>2</sup> /ha)	10,03	5,38	7,09	9,34	6,23	4,14	4,69	5,82	2,90	0,44



(Suite)

Variables	Boisés adjacents aux vergers de pommiers									
	Montérégie-Est					Brome-Missisquoi				
	SB	BH	GAD	HAM	MEN	TOU	ROYD	ROYF	BR	DUC
<b>BOISÉ : Herbacées</b>										
Diversité H' de Shannon-Wiener	2,36	1,96	1,28	1,77	1,70	1,01	1,54	1,52	1,71	1,85
Équitabilité J de Piélou	0,87	0,67	0,47	0,71	0,53	0,35	0,62	0,61	0,60	0,60
Dominance d de Berger-Parker	0,21	0,30	0,63	0,26	0,42	0,74	0,55	0,36	0,32	0,48
Espèce dominante *	Scan	Srac	Rcyn	Pterophyta et Terec	Rodo	Ctha	Crataegus sp.	Aatro	Bryophyta	Pterophyta
Richesse spécifique	15	18	15	12	24	17	12	12	17	21
Surface totale recouverte par les herbacées (exprimé en m <sup>2</sup> /400 m <sup>2</sup> )	66,50	53,26	11,03	38,15	110,14	67,20	9,01	23,35	130,65	59,40
Surface totale recouverte par les herbacées (exprimé en proportion)	0,17	0,13	0,03	0,10	0,28	0,17	0,02	0,06	0,33	0,15
Surface totale recouverte par les herbacées (STRH) représentée par les Rosacées (exprimé en proportion)	0,06	0,24	0,08	0	0,76	0,08	0,66	0	0,03	0,15
Surface terrière en Rosacées (m <sup>2</sup> /400 m <sup>2</sup> )	4,00	13,10	0,90	0	84,50	5,50	1,15	0	4,00	9,00
Surface totale recouverte par les herbacées (STRH) représentée par les espèces hôtes (exprimé en proportion)	0,06	0,24	0,08	0	0,76	0,08	0,66	0	0,03	0,15
Surface terrière en espèces hôtes (m <sup>2</sup> /400 m <sup>2</sup> )	4,00	13,10	0,95	0	84,50	5,50	6,00	0	4,00	9,00

(Suite)

Variables	Boisés adjacents aux vergers de pommiers									
	Montérégie-Est					Brome-Missisquoi				
	SB	BH	GAD	HAM	MEN	TOU	ROYD	ROYF	BR	DUC
<b>BORDURE</b>										
Diversité H' de Shannon-Wiener	1,64	0,78	2,42	1,73	0,95	1,39	0,40	1,85	1,85	1,42
Équitabilité J de Piélou	0,66	0,37	0,85	0,72	0,48	0,67	0,36	0,77	0,77	0,65
Dominance d de Berger-Parker	0,52	0,80	0,19	0,38	0,65	0,48	0,87	0,30	0,29	0,49
Espèce dominante *	Asac	Ptre	Jcin	Acer spp.	Asac	Pqui	Bpum	Bpum et Ptre	Salix sp.	Bpum
Richesse spécifique	12	8	17	11	7	8	3	11	11	9
Surface totale recouverte par la végétation (exprimé en m <sup>2</sup> /300 m <sup>2</sup> )	288	300	154,5	309	228	312	273	300	303	303
Surface totale recouverte par la végétation (exprimé en pourcentage)	96	100	52	103	76	104	91	100	101	101
Surface totale recouverte par la végétation (STRV) représentée par les Rosacées (exprimé en proportion)	0,02	0,06	0,15	0,29	0,01	0,31	0,00	0,05	0,06	0,14
Surface terrière en Rosacées (m <sup>2</sup> /300 m <sup>2</sup> )	6	18	24	90	3	99	0,00	15	21	45
Surface totale recouverte par la végétation (STRV) représentée par les espèces hôtes (exprimé en proportion)	0,61	0,88	0,56	0,68	0,67	0,36	0,11	0,66	0,63	0,29
Surface terrière en Sp hôtes (m <sup>2</sup> /300 m <sup>2</sup> )	177	264	87	210	153	114	30	198	192	88,5

\* Abréviations des espèces : Aatro = *Arisaema atrorubens*; Arub = *Acer rubrum*; Asac = *Acer saccharum*; Bpum = *Betula pumila*; Ctha = *Caulophyllum thalictroides*; Jcin = *Juglans cinerea*; Ovir = *Ostrya virginiana*; Pban = *Pinus banksiana*; Pgra = *Populus grandidentata*; Pqui = *Parthenocissus quinquefolia*; Pres = *Pinus resinosa*; Ptre = *Populus tremuloides*; Rcyn = *Ribes cynosbati*; Rocc = *Rubus occidentalis*; Rodo = *Rubus odoratus*; Scan = *Sanguinaria canadensis*; Srac = *Smilacina racemosa*; Tcan = *Tsuga canadensis*; Terec = *Trillium erectum*.

Le site MF situé à Frelighsburg n'a pas pu être caractérisé, mais il se composait essentiellement d'une plantation de pin (*Pinus* sp.) et comptait très peu de plantes herbacées.

## LISTE DES RÉFÉRENCES

Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire (ARLA). 2006. Étiquette Bioprotec CAF. No. d'homologation 26854. 11 mai 2006. 8 p.

Ahmad M., Hollingworth R.M. et J.C. Wise. 2002. Broad-spectrum insecticide resistance in obliquebanded leafroller *Choristoneura rosaceana* (Lepidoptera: Tortricidae) from Michigan. *Pest Management Science* 58 : 834-838.

Ahmad M. et R.M. Hollingworth. 2004. Synergism of insecticides provides evidence of metabolic mechanisms of resistance in the obliquebanded leafroller *Choristoneura rosaceana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Pest Management Science* 60 : 465-473.

AliNiazee M.T. 1986. Seasonal history, adult flight activity, and damage of the obliquebanded leafroller, *Choristoneura rosaceana* (Lepidoptera: Tortricidae), in filbert orchards. *The Canadian Entomologist* 118 : 351-359.

Altieri M.A. et C.I. Nicholls. 2004. Biodiversity and pest management in agroecosystems, 2<sup>nd</sup> edition, Food Products Press, New York, 236 p.

Altieri M.A., Nicholls C.I. et M. Fritz. 2005. Manage insects on your farm, a guide to ecological strategies. Sustainable Agriculture Network, Handbook Series Book 7, Beltsville, Maryland, É.-U. 119 p.

Anonyme. 2001. Tableau-synthèse des principaux critères de décision pour les traitements insecticides en périodes préflorale, postflorale et estivale (Annexe D), p.208. *Dans* Guide de gestion intégrée des ennemis du pommier, Gérald Chouinard (coord.), Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Québec. 234 p.

Anonyme. 2006. Guide des traitements foliaires du pommier 2006-2007. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ).

Barbour M.G., Burk J.H., Pitts W.D., Gilliam F.S. et M.W. Schwartz. 1999. Terrestrial plant ecology, 3e édition. Benjamin/Cummings, Menlo Park, California, USA. 649 p.

Begon M., Harper J.L. et C.R. Townsend. 1996. Ecology: individuals, populations and communities. Blackwell Science, Oxford. 1068 p.

Bellerose S. 2004a. Observations moyennes du Réseau au 14 juin 2004. *Dans* Avertissement no.11 – 16 juin 2004, Réseau d'avertissements phytosanitaires – Pommier.

Bellerose S. 2004b. Observations moyennes du Réseau au 22 juin 2004. *Dans* Avertissement no.12 – 23 juin 2004, Réseau d'avertissements phytosanitaires – Pommier.

- Bellerose S. 2004c. Observations moyennes du Réseau au 28 juin 2004. *Dans* Avertissement no.13 – 30 juin 2004, Réseau d'avertissements phytosanitaires – Pommier.
- Bellerose S. 2004d. Observations moyennes du Réseau au 12 juillet 2004. *Dans* Avertissement no.14 – 15 juillet 2004, Réseau d'avertissements phytosanitaires – Pommier.
- Bellerose S. 2004e. Observations moyennes du Réseau au 27 juillet 2004. *Dans* Avertissement no.15 – 28 juillet 2004, Réseau d'avertissements phytosanitaires – Pommier.
- Bellerose S., Vincent C. et J.-G. Pilon. 1992. Résistance à trois insecticides synthétiques de la tordeuse à bandes obliques de la région de Deux-Montagnes. Résumé des recherches de la Station d'Agriculture Canada de Saint-Jean-sur-Richelieu 20 : 5-6.
- Bérard J. et M. Côté (Eds). 1996. Manuel de foresterie. Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, Les Presses de l'Université Laval, Sainte-Foy, Québec. 1428 p.
- Berger W.H. et F.L. Parker. 1970. Diversity of planctonic Foraminifera in deep sea sediments. *Science* 168 : 1345–1347.
- Boatman N. 1994. Field margins: integrating agriculture and conservation. British Crop Protection Council, Surrey, England. 404 p.
- Bowie M.H., Gurr G.M., Hossain Z., Baggen L.R. et C.M. Frampton. 1999. Effects of distance from field edge on aphidophagous insects in a wheat crop and observations on trap design and placement. *International Journal of Pest Management* 45 : 69-73.
- Bradley G.A. 1974. Parasites of Forest Lepidoptera in Canada. Subfamilies Metopiinae and Pimplinae (Hymenoptera : Ichneumonidae). Canadian Forestry Service Publication 1336.
- Brunner J.F. 1996. Discovery of *Colpoclypeus florus* (Walker) (Hymenoptera : Eulophidae) in apple orchards of Washington. *Pan-Pacific Entomologist* 72 : 5-12.
- Burks R.A. 2003. Key to the Nearctic genera of Eulophidae, subfamilies Entedoninae, Euderinae, and Eulophinae (Hymenoptera Chalcidoidea). World Wide Web electronic publication. <http://www.faculty.ucr.edu/~heraty/Eulophidae/> (consulté le 1<sup>er</sup> mai 2006).
- Campadelli G. 1996. Some parasitoids of *Zeuzera pyrina* L. (Lep. Cossidae) in Emilia-Romagna. *Bollettino dell'Istituto di Entomologia "Guido Grandi", Università degli Studi di Bologna* 50 : 127-131.
- Carrière Y. 1992a. Host plant exploitation within a population of a generalist herbivore, *Choristoneura rosaceana*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 65 : 1-10.
- Carrière Y. 1992b. Larval dispersal from potential hosts within a population of a generalist herbivore, *Choristoneura rosaceana*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 65 : 11-19.

Carrière Y. et B.D. Roitberg. 1994. Trade-offs in response to host plants within a population of a generalist herbivore, *Choristoneura rosaceana*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 72 : 173-180.

Carrière Y., Paré S. et B.D. Roitberg. 1995. Oviposition preference of a polyphagous moth, the obliquebanded leafroller, *Choristoneura rosaceana* (Harris) (Lepidoptera: Tortricidae). *The Canadian Entomologist* 127 : 577-586.

Carrière Y., Deland J.P. et D.A. Roff. 1996. Obliquebanded leafroller (Lepidoptera: Tortricidae) resistance to insecticides: among-orchard variation and cross-resistance. *Journal of Economic Entomology* 89 : 577-582.

Chapman P.J. et S.E. Lienk. 1971. Tortricid fauna of apple in New York ; including an account of apple's occurrence in the state, especially as a naturalized plant. New York State Agricultural Experiment Station, Geneva, Special publication. 122 p.

Chouinard G. (Éd) 1999. Quebec apple pest monitoring guide. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ). 170 p.

Chouinard G., Morin Y. et C. Brodeur. 2001. Lutte contre les insectes et les acariens du pommier, p. 99-138. *Dans* Guide de gestion intégrée des ennemis du pommier, Gérald Chouinard (coord.), Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Québec. 234 p.

Coli W.M., Ciurlino R.A. et T. Hosmer. 1994. Effect of understory and border vegetation composition on phytophagous and predatory mites in Massachusetts commercial apple orchards. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 50 : 49-60.

Conway H.E., Steinkraus D.C., Ruberson J.R. et T.J. Kring. 2006. Experimental treatment threshold for the cotton aphid (Homoptera: Aphididae) using natural enemies in Arkansas cotton. *Journal of Entomological Science* 41 : 361-373.

Corbett A. et J.A. Rosenheim. 1996. Impact of a natural enemy overwintering refuge and its interaction with the surrounding landscape. *Ecological Entomology* 21 : 155-164.

Cormier D. et G. Chouinard (coord.). 2006. Production fruitière intégrée : un regard sur les bonnes pratiques. Comité de pomiculture du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ), Québec.

Cossentine J., Jensen L., Deglow E., Bennett A., Goulet H., Huber J. et J. O'Hara. 2004. The parasitoid complex affecting *Choristoneura rosaceana* and *Pandemis limitata* in organically managed apple orchards. *BioControl* 49 : 359-372.

Cossentine J.E., Deglow E.K., Jensen L.B.M. et H. Goulet. 2005. Biological assessment of *Macrocentrus linearis* and *Apanteles polychrosidis* (Hymenoptera: Braconidae) as parasitoids

of the obliquebanded leafroller, *Choristoneura rosaceana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Biocontrol Science and Technology* 15 : 711-720.

Cusson M., Laforge M., Régnière J., Béliveau C., Trudell D., Thireau J.C., Bellemarre G., Keirstead N. et D. Stolz. 2002. Multiparasitism of *Choristoneura fumiferana* by the ichneumonid *Tranosema rostrale* and the tachinid *Actia interrupta*: Occurrence in the field and outcome of competition under laboratory conditions. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 102 : 125-133.

Dambach C.A. 1948. Ecology of crop field borders. Ohio State University Press, Columbus, Ohio. 140 p.

Day K.R. 1997. The influence of temperature on egg mortality in the budmoth *Zeiraphera diniana* (Lepidoptera: Tortricidae), and its role in determining the regional abundance of an important forest pest. *Bulletin of Entomological Research* 87 : 259-264.

Disney R.H.L. 1994. Scuttle flies: the Phoridae. Chapman & Hall, London. 467 p.

Disney R.H.L. et R.E. Evans. 1990. Some new records of fungus-breeding Phoridae (Diptera). *Dipterist's Digest* 7 : 20-23.

Disney R.H.L., Khochare N.N. et S.K.Jr. Godase. 1992. A new parasitoid (Diptera: Phoridae) of the mango shoot borer, *Chlumetia transversa* (Lepidoptera: Noctuidae), in India. *Bulletin of Entomological Research* 82 : 191-195.

Disney R.H.L. et G. Campadelli. 1996. A new species of *Megaselia* Rondani (Diptera: Phoridae) reared from a moth larva (Lepidoptera: Cossidae) in Italy. *Bollettino dell'Istituto di Entomologia "Guido Grandi", Università degli Studi di Bologna* 51 : 64-68.

Eilenberg J., Hajek A. et C. Lomer. 2001. Suggestions for unifying the terminology in biological control. *BioControl* 46 : 387-400.

Enderlein G. 1929. *Entomologica Canaria* IV. *Wiener entomologische Zeitung* 46 : 95-109.

Environnement Canada. 2006. *Archives climatiques nationales*. En ligne. <http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca>. Consulté en décembre 2007.

Eyles A.C. 1965. Observations on some parasites of two *Wiseana* species (Lep. : Hepialidae). *New Zealand Journal of Agricultural Research* 8 : 951-958.

Faust M. 1989. Physiology of temperate zone fruit trees, p. 221-234. John Wiley, New York.

Fédération des producteurs de pommes du Québec. 2008. *Pommes Qualité Québec : Portrait de la production*. En ligne. <http://www.lapommequebec.ca/pages/PQQ/portraitproduction.aspx>. Consultée le 27 avril 2008.

Gardner J. 2005. *Recommandations pour les cultures fruitières – Publication 360F. Chapitre 10 : Pomme*. Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario. En ligne.  
<http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/pub360/7thinning.htm#chemical>. Page Web consultée le 16 mars 2006.

Geest L.P.S. van der et H.H. Evenhuis. 1991. Tortricid pests: their biology, natural enemies and control. Elsevier, New York. 808 p.

Goulet H. et J.T. Huber. 1993. Hymenoptera of the world: an identification guide to families. Research Branch of Agriculture Canada Publication 1894/E, Ottawa, Canada. 668 p.

Grissell E.E. et M.E. Schauff. 1990. A handbook of the families of Nearctic Chalcidoidea (Hymenoptera). Entomological Society of Washington (Washington, D.C.) Handbook 1 : 1-85.

Gujar G.T., Kumari A., Kalia V. et K. Chandrashekar. 2000. Spatial and temporal variation in susceptibility of the American bollworm, *Helicoverpa armigera* (Huebner) to *Bacillus thuringiensis* var. kurstaki in India. Current Science 78 : 995-1000.

Hati S.R., Sahoo S.K., Jha S. et A. Saha. 2005. Population dynamics of mango hopper as influenced by abiotic factors in New Gangetic alluvial zone of West Bengal. Environment and Ecology 23, suppl. 2 : 314.

Hunter M.D. et J.N. McNeil. 2000. Geographic and parental influences on diapause by a polyphagous insect herbivore. Agricultural and Forest Entomology 2 : 49-55.

Johnson N.L. et S. Kotz. 1969. Distributions in statistics : discrete distributions, vol.1. Houghton Mifflin, Boston. 328 p.

Kawai A. 1997. Prospect for integrated pest management in tea cultivation in Japan. Japan Agricultural Research Quarterly 31 : 213-217.

Kelly L. et D.M. Debinski. 1998. Relationship of host plant density to size and abundance of the regal fritillary *Speyeria idalia drury* (Nymphalidae). Journal of the Lepidopterists Society 52 : 262-276.

Kogan M. 1998. Integrated pest management: historical perspectives and contemporary developments. Annual Review of Entomology 43 : 243-270.

Krauss J., Steffan-Dewenter I. et T. Tschardt. 2004. Landscape occupancy and local population size depends on host plant distribution in the butterfly *Cupido minimus*. Biological Conservation 120 : 355-361.

- Krugner R., Daane K.M., Lawson A.B. et G.Y. Yokota. 2005. Biology of *Macrocentrus iridescent* (Hymenoptera: Braconidae): a parasitoid of the obliquebanded leafroller (Lepidoptera: Tortricidae). *Environmental Entomology* 34 : 336-343.
- Lawson D.S., Reissig W.H. et C.M. Smith. 1997. Response of larval and adult obliquebanded leafroller (Lepidoptera: Tortricidae) to selected insecticides. *Journal of Economic Entomology* 90 : 1450-1457.
- Lawson D.S., Reissig W.H. et A.M. Agnello. 1998. Effects of summer pruning and hand fruit thinning on obliquebanded leafroller (Lepidoptera: Tortricidae) fruit damage in New York state apple orchards. *Journal of Agricultural Entomology* 15 : 113-123.
- Li S.Y., Fitzpatrick S.M., Troubridge J.T., Sharkey M.J., Barron J.R. et J.E. O'Hara. 1999. Parasitoids reared from the obliquebanded leafroller (Lepidoptera: Tortricidae) infesting raspberries. *Canadian Entomologist* 131 : 399-404.
- Magurran A.E. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell Science, Malden, Mass. 256 p.
- Mahr D.L. et N.M. Ridgway. 1993. *Biological control of insects and mites: an introduction to beneficial natural enemies and their use in pest management*. North Central Regional Publication 481, Cooperative Extension Publications, University of Wisconsin, Madison. 91 p.
- Mahr D. et P. Whitaker. 2004. Beneficial insect habitat in an apple orchard – effects on pests. Research Brief #71, Center for Integrated Agricultural Systems, UW-Madison College of Agricultural and Life Sciences, September 2004. [http://www.cias.wisc.edu/archives/2004/09/01/beneficial\\_insect\\_habitat\\_in\\_an\\_apple\\_orchard\\_effects\\_on\\_pests/index.php](http://www.cias.wisc.edu/archives/2004/09/01/beneficial_insect_habitat_in_an_apple_orchard_effects_on_pests/index.php)
- Maltais J., Régnière J., Cloutier C., Hébert C. et D.F. Perry. 1989. Seasonal biology of *Meteorus trachynotus* Vier. (Hymenoptera: Braconidae) and of its overwintering host *Choristoneura rosaceana* Harr. (Lepidoptera: Tortricidae). *The Canadian Entomologist* 121 : 745-756.
- Marie-Victorin, Frère. 1995. *Flore laurentienne*, 3e édition. Mise à jour et annotée par L. Brouillet, S.G. Hay, I. Goulet. M. Blondeau, J. Cayouette et J. Labrecque. Presses de l'Université de Montréal, Montréal. 1093 p.
- Marino P.C. et D.A. Landis. 2000. Parasitoid community structure: implications for biological control in agricultural landscapes, p. 183-193. Dans Ekbom B., Irwin M.E. et Y. Robert (Éds). 2000. *Interchanges of insects between agricultural and surrounding landscapes*, Kluwer Academic Publishers, Boston.



- Matsumoto K., Ito F. et Y. Tsubaki. 1993. Egg cluster size variation in relation to the larval food abundance in *Luehdorfia puziloi* (Lepidoptera : Papilionidae). *Researches on Population Ecology* 35 : 325-333.
- Matsumura T. 1997. Effect of temperature on the population size change of *Luehdorfia puziloi inexpecta* Sheljuzhko (Lepidoptera: Papilionidae). *Transactions of the Lepidopterological Society of Japan* 48 : 109-114.
- Matsumura T. 2004. Analysis of ovipositional environment using Quantification Theory Type I: the case of the butterfly, *Luehdorfia puziloi inexpecta* (Papilionidae). *Journal of Insect Conservation* 8 : 59-67.
- Menendez R. et C.D. Thomas. 2000. Metapopulation structure depends on spatial scale in the host-specific moth *Wheeleria spilodactylus* (Lepidoptera: Pterophoridae). *Journal of Animal Ecology* 69 : 935-951.
- Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. 1998. La lutte intégrée, tout le monde y gagne. Stratégie phytosanitaire - Saint-Laurent Vision 2000.
- Ministère de l'énergie et des ressources du Québec. 1990. Petite flore forestière du Québec. 2e édition revue et augmentée. Québec : Les Publications du Québec. 249 p.
- Mohan M. et G.T. Gujar. 2002. Geographical variation in larval susceptibility of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) to *Bacillus thuringiensis* spore-crystal mixtures and purified crystal proteins and associated resistance development in India. *Bulletin of Entomological Research* 92 : 489-498.
- Mohapatra K., Samal U.N. et B.N. Naik. 1989. Seasonal abundance of photopositive Lepidoptera and Coleoptera in a semideciduous forest of Orissa. *Environment and ecology* 7 : 220-223.
- Morgan D.C., Stanley D.J., Volz R. et R.J. Warrington. 1984. Summer pruning of "Gala" apple: the relationships between pruning time, radiation penetration, and fruit quality. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 109 : 637-642.
- Morin Y., Brodeur C., Joannin R., Samuel O. et G. Chouinard. 2001. Utilisation sécuritaire des pesticides, p. 9-52. *Dans* Guide de gestion intégrée des ennemis du pommier, Gérald Chouinard (coord.), Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Québec. 234 p.
- Morin Y. et G. Chouinard. 2001a. Lutte intégrée, p. 163-198. *Dans* Guide de gestion intégrée des ennemis du pommier, Gérald Chouinard (coord.), Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Québec. 234 p.
- Morin Y. et G. Chouinard. 2001b. Lutte contre les insectes et les acariens du pommier (Tableau 33, 5<sup>e</sup> mise à jour, 25 avril 2005), p.183. *Dans* Guide de gestion intégrée des

ennemis du pommier, Gérald Chouinard (coord.), Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Québec. 234 p.

Nealis V.G. et P.V. Lomic. 1994. Host-plant influence on the population ecology of the jack pine budworm, *Choristoneura pinus* (Lepidoptera: Tortricidae). *Ecological Entomology* 19 : 367-373.

Niyibigira E.I., Abdallah Z.S., Overholt W.A., Lada V.Y. et A. Van Huis. 2001. Distribution and abundance, in maize and sorghum, of Lepidopteran stemborers and associated indigenous parasitoids in Zanzibar. *Insect science and its application* 21 : 335-346.

O'Hara J.E. 2005. A review of the tachinid parasitoids (Diptera: Tachinidae) of Nearctic *Choristoneura* species (Lepidoptera: Tortricidae), with keys to adults and puparia. *Zootaxa* 938 : 1-46.

Onstad D.W., Reissig W.H. et C.A. Shoemaker. 1985. Phenology and management of the obliquebanded leafroller *Choristoneura rosaceana* (Lepidoptera: Tortricidae) in apple orchards. *Journal of Economic Entomology* 78 : 1455-1462.

Pfannenstiel R.S. et T.R. Unruh. 2003. Conservation of leafroller parasitoids through provision of alternate hosts in near-orchards habitats. *International Symposium on Biological Control of Arthropods*. USDA Forst Service Pub. FHTET-03-05. p. 256-262.

Pielou E.C. 1966. Shannon's formula as a measure of species diversity: its use and misuse. *The American Naturalist* 100 : 463-465.

Pollard E. 1988. Temperature, rainfall and butterfly numbers. *Journal of Applied Ecology* 25 : 819-828.

Pree D.J., Whitty K.J., Pogoda M.K. et L.A. Bittner. 2001. Occurrence of resistance to insecticides in populations of the obliquebanded leafroller from orchards. *The Canadian Entomologist* 133 : 93-103.

Pree D.J., Whitty K.J., Bittner L.A. et M.K. Pogoda. 2003. Mechanisms of resistance to organophosphorus insecticides in populations of the obliquebanded leafroller *Choristoneura rosaceana* (Harris) (Lepidoptera: Tortricidae) from southern Ontario. *Pest Management Science* 59 : 79-84.

Pree D.J., Appleby M.E., Bittner L.A. et K.J. Whitty. 2004. Management of resistance to insecticides in the obliquebanded leafroller, *Choristoneura rosaceana* (Harris), (Lepidoptera: Tortricidae) in Ontario orchards. *Journal of the Entomological Society of Ontario* 135 : 109-118.

Prentice R.M. (Compiler). 1965. Forest Lepidoptera of Canada recorded by the Forest Insect Survey. Vol. 4. Microlepidoptera. Canada Department of Forestry Publication 1142, pp.545-834.

Reissig W.H., Stanley B.H. et H.E. Hebding. 1986. Azinphosmethyl resistance and weight-related response of obliquebanded leafroller (Lepidoptera: Tortricidae) larvae to insecticides. *Journal of Economic Entomology* 79 : 329-333.

Risch S.J. 1981. Insect herbivore abundance in tropical monocultures and polycultures: an experimental test of two hypotheses. *Ecology* 62 : 1325-1340.

Roberts-Pichette P. et L. Gillespie. 1999. Protocoles de suivi de la biodiversité végétale terrestre. Collection des rapports hors-série, rapport no 9, Bureau de coordination de la surveillance écologique, Burlington (Ontario). 138 p.

Robinson W.H. 1971. Old and new biologies of *Megaselia* species (Diptera: Phoridae). *Studia Entomologica*, Petropolis 14: 321-348.

Root R.B. 1973. Organization of a plant–arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards (*Brassica oleracea*). *Ecological Monographs* 43: 95–124.

Roy D.B., Rothery P., Moss D., Pollard E. et J.A. Thomas. 2001. Butterfly numbers and weather: predicting historical trends in abundance and the future effects of climate change. *Journal of Animal Ecology* 70 : 201-217.

Sackett T.E., Buddle C.M. et C. Vincent. 2007. Effects of kaolin on the composition of generalist predator assemblages and parasitism of *Choristoneura rosaceana* (Lep., Tortricidae) in apple orchards. *Journal of Applied Entomology* 131 : 478-485.

Sanderson E.D. et A.D. Jackson. 1909. The obliquebanded leafroller, *Archips rosaceana* Harris. *Journal of Economic Entomology* 2 : 391-403.

Sarvary M.A., Nyrop J., Reissig H. et K.M. Gilford. 2007. Potential for censurement biological control of the obliquebanded leafroller (OBLR), *Choristoneura rosaceana* (Harris) in orchard systems managed with reduced-risk insecticides. *Biological Control* 40 : 37-47.

Schellhorn N.A. et L. Silberbauer. 2003. The role of surrounding vegetation and refuges: increasing the effectiveness of predators and parasitoids in cotton and broccoli systems. *Proceedings for the 1st International Symposium on the Biological Control of Arthropods*. Honolulu, Hawaii, U.S.A., January 14-18, 2002 : 235-243.

Schellhorn N.A., Bellati J., Paull C.A. et L. Maratos. 2008. Parasitoid and moth movement from refuge to crop. *Basic and Applied Ecology* 9 : 691-700.

Sciarretta A., Trematerra P. et J. Baumgaertner. 2001. Geostatistical analysis of *Cydia funebrana* (Lepidoptera: Tortricidae) pheromone trap catches at two spatial scales. *The American Entomologist* 47 : 174-184.

- Seymour J.E. 2001. Geographic variation in host instar and species preference of *Microplitis demolitor* (Wilkinson) (Hymenoptera: Braconidae) towards two of its native hosts, *Helicoverpa punctigera* (Wallengren) and *Helicoverpa armigera* (Huebner) (Lepidoptera: Noctuidae). Australian Journal of Entomology 40 : 245-248.
- Shannon C. 1948. A mathematical theory of communication. Bell System Technical Journal 27 : 379-423.
- Shorey H.H. et R.L. Hale. 1965. Mass-rearing of the larvae of nine noctuid species on a simple artificial medium. Journal of Economic Entomology 58 : 522-524.
- Shreeve T.G. 1986. Egg-laying by the speckled wood butterfly (*Pararge aegeria*) : the role of female behaviour, host plant abundance and temperature. Ecological Entomology 11 : 229-236.
- Siddiqui I. et J. Singh. 2006. Population dynamics of red spider mite, *Tetranychus urticae* Koch. on Brinjal as affected by abiotic factors. Environment and Ecology 24S, suppl. 2 : 297-298.
- Simeone J.B. et J.H. Engelken. 1959. Injury to coniferous tree seedlings by the oblique-banded leafroller. Journal of Forestry 57 : 492-494.
- Simpson E.H. 1949. Measurement of diversity. Nature 163 : 688.
- Smirle M.J., Vincent C., Zurowski C.L. et B. Rancourt. 1998. Azinphos-methyl resistance in the obliquebanded leafroller, *Choristoneura rosaceana*: reversion in the absence of selection and relationship to detoxication enzyme activity. Pesticide Biochemistry and Physiology 61 : 183-189.
- Smirle M.J., Lowery D.T. et C.L. Zurowski. 2002. Resistance and cross-resistance to four insecticides in populations of obliquebanded leafroller (Lepidoptera: Tortricidae). Journal of Economic Entomology 95 : 820-825.
- Smith D. et D.F. Papacek. 1991. Studies of the predatory mite *Amblyseius victoriensis* (Acarina: Phytoseiidae) in citrus orchards in south-east Queensland: control of *Tegolophus australis* and *Phyllocoptruta oleivora* (Acarina: Eriophyidae), effects of pesticides, alternative host plants and augmentative release. Experimental and Applied Acarology 12 : 195-217.
- Smith M.W., Arnold D.C., Eikenbary R.D., Rice N.R., Shiferaw A., Cheary B.S. et B.L. Carroll. 1996. Influence of ground cover on beneficial arthropods in pecan. Biological Control 6 : 164-176.
- Sokal R.R. et F.J. Rohlf. 1995. Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. 3<sup>e</sup> édition, W.H. Freeman, New York. 887 p.

Steffan-Dewenter I. et T. Tscharntke. 2002. Insect communities and biotic interactions on fragmented calcareous grasslands – a minireview. *Biological Conservation* 104 : 275-284.

Suckling D.M., Burnip G.M., Walker J.T.S., Shaw P.W., McLaren G.F., Howard C.R., Lo P., White V. et J. Fraser. 1998. Abundance of leafrollers and their parasitoids on selected host plants in New Zealand. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 26 : 193-203.

Swengel A.B. et S.R. Swengel. 1996. Factors affecting abundance of adult Karner Blues (*Lycaeides melissa samuelis*) (Lepidoptera : Lycaenidae) in Wisconsin surveys 1987-95. *The Great Lakes Entomologist* 29 : 93-105.

Szentkiralyi F. et F. Kozar. 1991. How many species are there in apple insect communities ? Testing the resource diversity and intermediate disturbance hypotheses. *Ecological Entomology* 16 : 491-503.

Taylor B.H. et D.C. Ferree. 1984. The influence of summer pruning and cropping on growth and fruiting of apple. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 109 : 19-24.

Thireau J.-C. et J. Régnière. 1993. Introduction du parasitoïde *Actia interrupta* dans une population de tordeuses de bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana*) (Résumé). *Phytoprotection* 74 : 174-175.

Thomas M.B., Wratten S.D. et N.W. Sotherton. 1992. Creation of "island" habitats in farmland to manipulate populations of beneficial arthropods: predator densities and species composition. *Journal of Applied Ecology* 29 : 524-531.

Toepfer S., Gu H. et S. Dorn. 1999. Spring colonisation of orchards by *Anthonomus pomorum* from adjacent forest borders. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 93 : 131-139.

Tscharntke T. et R. Brandl. 2004. Plant-insect interactions in fragmented landscapes. *Annual Review of Entomology* 49 : 405-430.

Tsubaki Y. 1995. Clutch size adjustment by *Luehdorfia japonica*. Dans : Scriber J.M., Thubaki Y. et Lederhouse R. (eds), *The swallowtail butterflies (their ecology and evolutionary biology)*, Scientific Publishers, Gainesville USA, pp.63-70.

Tuovinen T. 1994. Influence of surrounding trees and bushes on the phytoseiid mite fauna on apple orchard trees in Finland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 50 : 39-47.

Vakenti J.M., Cossentine J.E., Cooper B.E., Sharkey M.L., Yoshimoto C.M. et L.B.M. Jensen. 2001. Host-plant range and parasitoids of obliquebanded and three-lined leafrollers (Lepidoptera: Tortricidae). *Canadian Entomologist* 133: 139-146.

Van Driesche R.G. et T.S. Bellows. 1996. *Biological Control*. Chapman-Hall, New York, 539 p.

Waite T.A. et L.G. Campbell. 2006. Controlling the false discovery rate and increasing statistical power in ecological studies. *Ecoscience* 13 : 439-442.

Waldstein D.E., Reissig W.H., Scott J.G. et R.W. Straub. 1999. Susceptibility of obliquebanded leafroller (Lepidoptera: Tortricidae) populations from commercial apple orchards and an unsprayed habitat in New York to tebufenozide. *Journal of Economic Entomology* 92 : 1251-1255.

Waldstein D.E. et W.H. Reissig. 2000. Synergism of tebufenozide in resistant and susceptible strains of obliquebanded leafroller (Lepidoptera: Tortricidae) and resistance to new insecticides. *Journal of Economic Entomology* 93 : 1768-1772.

Westbrook C.J. 2003. The identity and seasonal activity of Tachinid parasitoids of the Tortricid leafroller (*Choristoneura rosaceana*) infesting apple orchards. Thesis presented in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science, Cornell University.

Wilkinson T.K., Landis D.A. et L.J. Gut. 2004. Parasitism of obliquebanded leafroller (Lepidoptera : Tortricidae) in commercially managed Michigan apple orchards. *Journal of Economic Entomology* 97 : 1524-1530.

Wratten S.D. 1988. The role of field margins as reservoirs of beneficial insects, p. 144-150, dans: *Environmental Management in Agriculture*. Park, J.R. (Ed.), London, Belhaven Press.

Wratten S.D., vanEmden H.F. et M.B. Thomas. 1998. Within-field and border refugia for the enhancement of natural enemies. Dans Pickett C.H. et R.L. Bugg (ed). 1998. *Enhancing biological control: habitat management to promote natural enemies of agricultural pests*. University of California Press, Berkeley. 422 p.

Wu K., Guo Y. et N. Lv. 1999. Geographic variation in susceptibility of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) to *Bacillus thuringiensis* insecticidal protein in China. *Journal of Economic Entomology* 92 : 273-278.

Ximenes M.F.F.M., Castellon E.G., de Souza M.F., Menezes A.A.L., Queiroz J.W., Macedo e Silva V.P. et S.M.B. Jeronimo. 2006. Effect of abiotic factors on seasonal population dynamics of *Lutzomyia longipalpis* (Diptera: Psychodidae) in northeastern Brazil. *Journal of Medical Entomology* 43 : 990-995.

Zalucki M.P. et R.L. Kitching. 1982. Temporal and spatial variation of mortality in field populations of *Danaus plexippus* L. and *D. chrysippus* L. larvae (Lepidoptera: Nymphalidae). *Oecologia* 53 : 201-207.